Copy 2

L'ONDE ÉLECTRIQUE

31e ANNÉE No 296
NOVEMBRE 1951
PRIX : 170 FRANCS

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
ÉDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE, PARIS-6e

NOTRE COUVERTURE

Voiture reportage pour télévision avec relais hertzien construite par la Compagnie Française de Télévision

LIRE DANS CE NUMÉRO

Amplificateur de Télévision — **R. Barthélemy**
Le groupe H. F. d'Allouis-Issoudun de la Radiodiffusion Française — **A. Gaillard**
Stabilisation de servomécanismes à courant continu **M. Cambornac et F. Lajeunesse**
Conditions de validité de la méthode matricielle pour les associations de quadripôles (applications aux circuits électriques à réaction) (*suite et fin*) - **Cdt A. Kaufmann**
Compte-rendu de la section de Grenoble

2 λ A_1 — 1 λ A_2 simultanées

EMETTEUR 1 KW
Standard

Emissions simultanées sur plusieurs fréquences

2 armoires : 1 λ en A_2 ; 2 λ en A_1

3 armoires : 2 λ en A_2 ; 1 λ en A_2 + 2 λ en A_1 ; 4 λ en A_1

Commutation instantanée de l'alimentation sur d'autres armoires de réserve

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

1 kw en télégraphie O E (A_1)

1 kw en télégraphie O E M (A_2)

1 kw en téléphonie (A_3)

GAMME : 1,5 à 30 Mc/s

STABILITÉ : 3×10^{-5}

ALIMENTATION : 220 volts, triphasé, 50 c/s

Châssis aux dimensions RACK STANDARD américain

TROPICALISATION

- Transformateurs, selfs, Condensateurs au papier imprégnés, en boîtiers étanches
- Câblage entièrement en fil nu (cuivre argenté)
- Stéatite ou bakélite moulée à base minérale

1 λ A_1 ou 1 λ A_2

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES PROCÉDÉS LOTH

S. A. AU CAPITAL DE 150.006.000 Frs

26, RUE BOYER — PARIS-20e — TÉL. : MEN. 62-94

R. C 164.892

USINES A PARIS : 26, RUE BOYER — A BRIVE : ROUTE DE COSNAC

ÉMETTEURS TROPICALISÉS

700W B. 72 - 1 KW universel
1 KW Standard - E.R. WALKIE TALKIE - VHF tour de contrôle de balise 75 MC S Relais hertziens de télévision

Ag. PUBLEDITEC DOMENACH

Régisseur exclusif de la Publicité de l'Onde Electrique : Agence-Publéditec-Domenach, 161, Boulevard St-Germain, PARIS-6e, Tél. LIT. 79-53

L'ONDE ÉLECTRIQUE

Revue Mensuelle publiée par la Société des Radioélectriciens
avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique

ABONNEMENT D'UN AN
FRANCE. . . . . 1750 »
ÉTRANGER. . . . . 2050 »

ÉDITIONS CHIRON
40, Rue de Seine — PARIS (6e)
C. C. P. PARIS 53-35

Prix du Numéro :
170 francs

Vol. XXXI — NOVEMBRE 1951 — Numéro 296

SOMMAIRE

		Pages
Analyseur de télévision	R. BARTHÉLEMY	415
Le groupe H. F. d'Allouis-Issoudun de la Radiodiffusion Française	A. GAILLARD	420
Stabilisation de servomécanismes à courant continu	M. CAMBORNAC et F. LAJEUNESSE	434
Conditions de validité de la méthode matricielle pour les associations de quadripoles (Applications aux circuits électroniques à réaction) *(Suite et fin)*	Cdt. A. KAUFMANN	446
Compte-rendu de la section de Grenoble		453

Sur la couverture :

Voiture-reportage pour télévision avec relais hertzien construite par la Compagnie Française de Télévision

Les opinions émises dans les articles ou comptes-rendus publiés dans L'Onde Électrique *n'engagent que leurs auteurs.*

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

FONDATEURS

† Général FERRIÉ, Membre de l'Institut.

† H. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne.
† A. BLONDEL, Membre de l'Institut.
P. BRENOT, Directeur à la Cie Générale de T. S. F.
J. CORNU, Chef de bataillon du Génie e. r.
† A. PÉROT, Professeur à l'Ecole Polytechnique.
† J. PARAF, Directeur de la Sté des Forces Motrices de la Vienne
La Société des Ingénieurs Coloniaux.

BUTS ET AVANTAGES OFFERTS

La Société des Radioélectriciens, fondée en 1921 sous le titre « Société des Amis de la T.S.F. » a pour buts (art. 1 des statuts) :

1° De contribuer à l'avancement de la Radiotélégraphie théorique et appliquée, ainsi qu'à celui des Sciences et Industries qui s'y rattachent ;

2° D'établir et d'entretenir entre ses membres des relations suivies et des liens de solidarité.

Les avantages qu'elle offre à ses membres sont les suivants:

1° Service gratuit de la revue mensuelle *L'Onde Électrique*;

2° Réunions mensuelles, avec conférences, discussions et expériences sur tous les sujets d'actualité technique ;

3° Visites de diverses installations radio-électriques : stations d'émission et de réception, postes de navires et d'avions, laboratoires, radiophares, expositions, studios, etc. ;

4° Renseignements de tous ordres (joindre un timbre pour la réponse)

COTISATIONS

Elles sont ainsi fixées :

1° Membres titulaires, particuliers ..... 1.200 F.
— sociétés ou collectivités 6.000 fr. / 12.000 fr. / ou 25.000 fr. — au gré de la Société ou Collectivité

2° Membres titulaires, âgés de moins de vingt-cinq ans, en cours d'études en France ..... 600 F.

Les membres de ces deux catégories, résidant à l'étranger, doivent verser en plus un supplément pour frais postaux de 300 fr.

3° Membres à vie.

Les particuliers, membres titulaires, peuvent racheter leur cotisation annuelle par un versement unique égal à dix fois le montant de cette cotisation soit ..... 12.000 F.

4° Membres donateurs :

Seront inscrits en qualité de donateurs, les membres qui auront fait don à la Société, en plus de leur cotisation, d'une somme égale au moins à ..... 5.000 F.

5° Membres bienfaiteurs :

Auront droit au titre de « Bienfaiteurs », les membres qui auront pris l'engagement de verser pendant cinq années consécutives, pour favoriser les études ou publications techniques ou scientifiques de la Société, une subvention d'au moins..... 15.000 F.

Adresser la correspondance administrative et technique, et effectuer le versement des cotisations à l'adresse suivante :

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS
10, Avenue Pierre-Larousse, Malakoff (Seine)

Tél. : ALÉSIA 04-16 — Compte de chèques postaux Paris 697-38
Les correspondants sont priés de rappeler chaque fois le numéro d'inscription porté sur leur carte.
CHANGEMENTS D'ADRESSE : Joindre 20 francs à toute demande.

SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

PRÉSIDENTS D'HONNEUR

† R. Mesny (1947) — † H. Abraham (1947).

ANCIENS PRÉSIDENTS DE LA SOCIÉTÉ

MM.

1922 M. de Broglie, Membre de l'Institut.
1923 H. Bousquet, Prés. du Cons. d'Adm. de la Cie Gle de T.S.F.
1924 R. de Valbreuze, Ingénieur.
1925 † J.-B. Pomey Inspecteur Général des P. T. T.
1926 E. Brylinski, Ingénieur.
1927 † Ch. Lallemand. Membre de l'Institut.
1928 Ch. Maurain, Doyen de la Faculté des Sciences de Paris.
1929 † L. Lumière, Membre de l'Institut.
1930 Ed. Belin, Ingénieur.
1931 C. Gutton, Membre de l'Institut.
1932 P. Caillaux, Conseiller d'Etat.
1933 L. Bréguet, Ingénieur.
1934 Ed. Picault, Directeur du Service de la T. S. F.
1935 † R. Mesny, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Electricité.
1936 † R. Jouaust, Directeur du Laboratoire Central d'Electricité.
1937 F. Bedeau, Agrégé de l'Université, Docteur ès-Sciences.
1938 P. Franck, Ingénieur général de l'Air.
1939 † J. Bethenod, Membre de l'Institut.
1940 † H. Abraham, Professeur à la Sorbonne.
1945 L. Bouthillon, Ingénieur en Chef des Télégraphes.
1946 R.P. P. Lejay, Membre de l'Institut.
1947 R. Bureau, Directeur du Laboratoire National de Radioélectricité.
1948 Le Prince Louis de Broglie, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
1949 M. Ponte, Directeur Général Adjoint de la Cie Gle de T.S.F.
1950 P. Besson, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ

Président :

Général Leschi, Directeur des Services Techniques de la Radiodiffusion et Télévision Françaises.

Président désigné pour 1952 :

M. J. de Mare, Ingénieur-Conseil.

Vice-Présidents :

MM. G. Lehmann, Directeur scientifique du L. C. T.
B. Decaux, Ingénieur en Chef au L. N. R.
R. Rigal, Inspecteur Général adjoint des P.T.T.

Secrétaire Général :

M. J. Matras, Ingénieur en Chef de la Radiodiffusion et Télévision Françaises.

Trésorier :

M. R. Cabessa, Ingénieur à la Société L. M. T.

Secrétaires :

MM. J. Dockes, Ingénieur des P. T. T.
J. Boulin, Ingénieur des P. T. T.
H. Testemale, Ingénieur de la Radiodiffusion et Télévision Françaises.

SECTIONS D'ÉTUDES

N°	Dénomination	Présidents	Secrétaires
1	Etudes générales.	M. de Mare.	M. Fromy.
2	Matériel radioélectr.	M. Aubert.	M. Adam.
3	Electro-acoustique.	M. Chavasse.	M. Poincelot.
4	Télévision.	M. Mallein.	M. Angel.
5	Hyperfréquences.	M. Goudet.	M. Guénard.
6	Electronique.	M. Cazalas.	M. Picquendar.
7	Documentation.	M. Cahen	M. Charlet.
			Mme Courtillot.

SECTION DE GRENOBLE

Président. — M. J. Benoit, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, Directeur de la Section de Haute Fréquence à l'Institut Polytechnique de Grenoble.

Secrétaire. — M. J. Moussiegt, Chef de Travaux à la Faculté des Sciences de Grenoble.

Les adhésions pour participation aux travaux des sections doivent être adressées au Secrétariat de la Société des Radioélectriciens, 10 Avenue Pierre-Larousse, à Malakoff (Seine).

INFORMATIONS

DEMANDE D'EMPLOI

0.98. — JEUNE INGÉNIEUR, position 2, spécialisé électronique et télévision, laboratoire et fabrication, cherche position stable Ing. ou A. T. 3. Excellentes références. Ecrire à la Société qui transmettra.

OFFRES D'EMPLOI

0.99. — Monteurs Cableurs P2 ou P3, dessinateurs d'études, dessinateurs, projeteurs radio, se prés. S. F. R., 55, rue Greffulhe, à Levallois, métro (Pont-Levallois). S'adr. à Melle Giraud.

0.100. — INGÉNIEUR grande Ecole, expérience RADAR ou technique des Impulsions ou Télévision pour travaux de laboratoire, avec expérience dans la construction. Ecrire à la Société qui transmettra.

0.101. — Agents techniques 3e catégorie, excellentes connaissances travaux de laboratoire de Radar ou de Télévision et Mécanique de Précision. Ecrire à la Société qui transmettra.

0.102. — Service de documentation recherche jeune ingénieur contractuel ayant des connaissances d'ensemble dans le domaine des télécommunications et de l'électronique, traduisant couramment l'anglais, l'allemand et si possible le russe. Ecr. à la Société qui transmettra.

LISTE DES NOUVEAUX MEMBRES

MM.	Présentés par MM.
Pichon Marc, Georges, Officier de l'Armée de l'Air	Hervé. Gaussot.
Poliakof Michel, Georges, Ingénieur	Székely. Lafargue.
Reverdin Daniel, Ingénieur	Warnecke. Guénard.
Reverdy Xavier, élève Section spéciale H. F. de l'Institut Polytechnique de Grenoble	Benoit. Grandsard.

MM	Présenter par MM.
Schiroky Marcel, élève à l'Ecole Centrale de T. S. F.	Quinet. Chrétien.
Strauch Raymond, Ingénieur I. E. C.	J. Benoit. Moussiegt.
Tallon Jacques, André, élève à l'Institut de Radioélectricité de Grenoble	Benoit. Grandsard.

ANALYSEUR DE TÉLÉVISION [1]

PAR

R. BARTHÉLEMY

Ingénieur en Chef

du Centre Expérimental de Télévision (Cie des Compteurs)

Dans cet exposé, l'auteur applique la théorie ébauchée précédemment, au fonctionnement d'une cible à couche mince, recevant un flux auxiliaire d'électrons lents. Concernant la réalisation de tubes d'analyse simplifiés il montre la possibilité d'un compromis, par le choix convenable des caractéristiques de la cible et du courant de faisceau déterminant le potentiel optimum.

1° *Cibles isolées à potentiel réglable par une source auxiliaire.*

Au cours de l'année 1949, le laboratoire de recherches de Corbeville, ayant à réaliser des tubes type « supericonoscope », d'encombrement aussi faible que possible et prévus pour une analyse de haute définition, trouva une limitation gênante

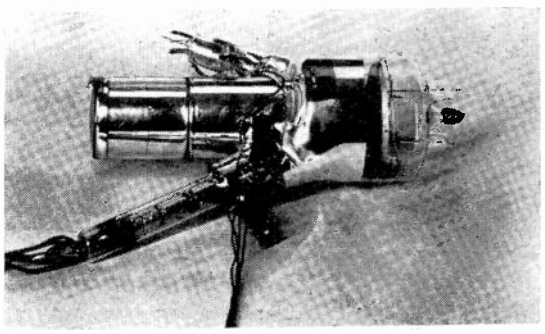

FIG. 1. — Tube supericonoscope avec arrosage à électrons lents.

du débit. Cette constatation conduisit le Dr DIELS, chargé de cette fabrication, à l'augmentation de la capacité d'accumulation. Dans ce but il substitua au diélectrique ordinairement utilisé, le mica, des couches déposées par voie électrolytique, ou par pulvérisation thermique et obtient des épaisseurs régulières de l'ordre du micron. Simultanément, M. WENDT, reprenant une idée déjà ancienne (2) calcula un canon « d'arrosage » à électrons lents, destiné à répartir sur toute la cible un courant électronique susceptible de régler son potentiel moyen, pour atteindre la sensibilité maxima. Des échecs avaient été enregistrés antérieurement dans des tentatives analogues. La méthode donna de bons résultats dans le cas des couches minces et nous avons défini, à cette époque, la relation à observer entre les reliefs de potentiel de la cible et la vitesse des électrons « d'arrosage » (3).

En effet dans les iconoscopes à diélectrique épais, on note avec un courant de faisceau normal, des différences de potentiel de deux ou trois volts entre les diverses plages de la cible. Ces inégalités perturbent considérablement la distribution d'un flux auxiliaire d'électrons lents dont les vitesses, exprimées en volts, sont du même ordre de grandeur.

Cet inconvénient est très atténué avec les cibles minces où les sauts de tension ne dépassent pas 3 à 4/10 de volt. L'uniformité d'un faisceau étalé, formé d'électrons de 5 à 6 volts, n'est pratiquement pas troublée et la distribution s'effectue comme sur une surface de niveau constant.

Ce jet d'électrons provient d'un canon à peu près symétrique de celui d'analyse.

On a prévu le réglage de la tension de la cathode par rapport à l'anode finale de l'analyseur (qui est relié à la plaque-signal de la cible). On peut agir également sur la tension Wehnelt-cathode du canon auxiliaire.

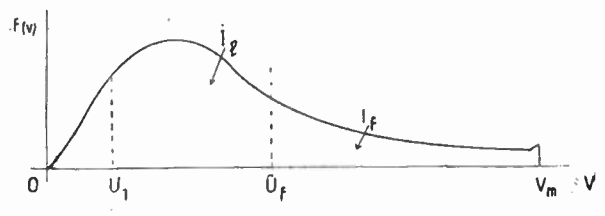

FIG. 2

On ajuste ainsi la vitesse et l'intensité du flux d'électrons lents qui devra déterminer le potentiel de la cible.

Il est facile d'évaluer l'intensité i_l à fournir pour maintenir, en l'absence de lumière sur la photo-

(1) Suite de l'article « Contribution à l'Etude des Emissions secondaires », *O. E.* N° 285 de décembre 1950.

(2) Brevet C. d. C., 1941.

(3) Brevet C. d. C., N° P. V. 576, 386, 4 août 1949.

cathode d'entrée, le potentiel de la cible à une valeur u_1.

Supposons le régime établi ; les reliefs de potentiel sont faibles à côté des vitesses initiales des électrons secondaires, ceci permet de traiter le problème comme s'il s'agissait d'une surface équipotentielle et de ramener ainsi le calcul à celui de la cible unique, exposé dans le premier article.

Lorsque le faisceau d'analyse aborde un « point image », il provoque une émission secondaire dont la partie de vitesse inférieure à u_1 retombe sur la cible (fig. 2). En adoptant les mêmes notations que précédemment, en désignant par i l'intensité qui quitte définitivement la cible et provoque l'élévation de potentiel du point frappé P, on a :

$$i = \int_{u_1}^{V_m} f(v)\, dv - i_f$$

Appelons T la période d'image ; Δt, la durée de passage du point d'impact sur sa propre section ; pour ramener le point P au potentiel primitif u_1, les électrons lents, au cours d'une période T, doivent déverser sur cette surface élémentaire une intensité i_l telle que :

$$i_l\, T = i\, \Delta t = \Delta t \left[\int_{u_1}^{V_m} f(v)\, dv - i_f \right]$$

Le rapport $\frac{T}{\Delta t}$ représente environ 1,2 fois le nombre de « points d'image » contenu dans la surface analysée. Désignons par I_l le courant total d'électrons lents déversé sur la cible on a :

$$I_l = 0{,}8 \left[\int_{u_1}^{V_m} f(v)\, dv - i_f \right]$$

En particulier, pour stabiliser la cible au potentiel d'anode ($u_1 = 0$) il faut fournir :

$$I_f = 0{,}8\,(K i_l - i_f) = 0{,}8\,(K - 1)\, i_f$$

I_l doit s'annuler pour $u_1 = u_f$.

Il suffit donc de disposer d'une intensité maximum de l'ordre du microampère pour amener le potentiel de la surface à une valeur comprise entre zéro et u_1.

Lorsque intervient l'impact supplémentaire des photoélectrons les reliefs de potentiels qui s'établissent ne sont relativement guère modifiés par la pluie uniforme des électrons lents, à condition toutefois que les différences entre les « blancs » et le « noir » ne dépassent pas quelques dixièmes de volt. Ces variations n'affectent que peu, en effet, la distribution d'électrons de 5 volts.

Bien entendu, ceux-ci sont attirés par les plages les plus positives et, dans le cas de forts éclairements, les contrastes sont diminués. De plus, on note, aux transitions, certaines perturbations d'aspect analogue à une correction accentuée de phase.

En résumé, le problème du réglage du potentiel d'une cible isolée, frappée par un jet d'électrons rapides, est résolu et une application a été réalisée dans le domaine des tubes de prise de vue de télévision. Son emploi comporte évidemment des difficultés nouvelles, tant dans la fabrication du tube, que dans la caméra, qui doit posséder des sources et des réglages supplémentaires. Son intérêt n'est donc pas indiscutable dans la pratique de l'exploitation, tout au moins dans la plupart des cas. Aussi une solution simplifiée, utilisant l'expérience acquise dans l'étude précédente et se rapprochant du dispositif classique, a-t-elle été mise au point.

2° *Cibles isolées auto-polarisées.*

C'est le cas normal des analyseurs de télévision, mais nous avons exposé antérieurement l'inconvénient du débit limité de ces appareils lorsqu'on réduit la surface des cibles et qu'on augmente la définition. Est-il possible en agissant sur la capacité de la cible et sur le courant de faisceau, d'obtenir une sensibilité encore admissible, jusqu'à 8 ou 900 lignes d'analyse, sans intervention du flux auxiliaire d'électrons lents ?

On trouve une solution de compromis en choisissant la capacité de cible d'une part, assez grande pour accumuler l'énergie suffisante et, d'autre part, assez petite pour provoquer, avec une intensité de faisceau nécessairement limitée, un seuil de potentiel minimum éloigné du plafond, u_f.

Cette dernière condition écarte l'usage des diélectriques ultra-minces et implique l'apparition de reliefs de quelques volts. Le calcul utilisé pour le cas de la cible quasi équipotentielle ne peut s'appliquer. D'ailleurs la détermination de la distribution des électrons secondaires devient fort complexe si l'on tient compte de la mobilité du faisceau, qui provoque l'apparition de sillons positifs. Après quelques essais, nous avons simplement utilisé les résultats expérimentaux, comme nous l'avons déjà exposé (1).

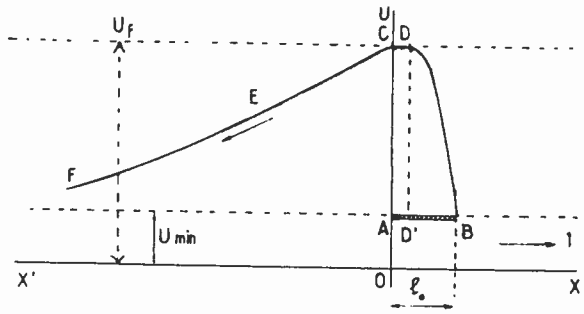

FIG. 3

Considérons le tracé le long d'une ligne d'analyse $X'X$ (Fig. 3), des différences de potentiel u, comptées à partir de l'anode finale, reliée à la face conductrice de la cible.

Au temps t le faisceau i_f se trouve par exemple, sur le « point image » AB supposé carré ; il se déplace dans le sens de la flèche 1 le long de la ligne

(1) Les analyseurs électroniques (Editions L. E. P. S.).

X X, et crée un relief de potentiel dans la section AB, figuré par la ligne $B\,D\,C$.

Dans la section d'impact elle-même, les tensions vont en croissant, depuis le point B qui est frappé au temps t, jusqu'au point A, qui est déjà sous le faisceau depuis le temps $t - \tau$ (τ, durée du passage sur le point-image). On admet pour simplifier, que la montée BD suit une loi linéaire et que la fin, CD, est sensiblement horizontale ; cette dernière représente la partie du point image AD' qui a atteint la tension d'équilibre u_f. En désignant par l_o la longueur AB, AD' en représente une fraction a, et l'intensité qui frappe cette partie du point image est ai_f, en supposant uniforme la densité du faisceau incident.

Du fait que DC représente le « plafond », c'est que l'équilibre existe entre le départ $a.Ki_f$, des électrons secondaires, et leur retour partiel sur cette plage, augmenté de l'impact primaire. Cette surface atteint le potentiel le plus élevé de l'enceinte.

La partie descendante CEF représente les potentiels des points précédemment frappés ; ils ont capté en effet des électrons secondaires provenant des parties sous impact, de potentiels inférieurs aux leurs, et aussi des électrons provenant de la charge d'espace.

Il est nécessaire qu'il s'établisse un potentiel moyen stable de la cible isolée après un certain nombre d'explorations complètes d'image (1/25 de seconde, la photocathode étant supposée non éclairée). En régime établi, il arrive, par période, autant d'électrons qu'il en a été émis.

Les électrons secondaires vont :

— en partie définitivement à l'anode ; cette intensité doit être, en moyenne, égale à i_f ;

— en partie dans la charge d'espace, qui retombe plus ou moins rapidement sur la cible ;

— en partie sur les points précédemment frappés, et qui présentent encore un potentiel positif par rapport à B ;

— en partie sur la plage AD', pour l'entretien de la tension d'équilibre u_f .

Il revient évidemment quelques électrons sur la surface BD', mais si l'on examine le diagramme des lignes d'égal niveau, tracées à la cuve, on voit que la plus grande partie des électrons secondaires émis sont soumis à un champ transversal puissant (environ 100 V/cm) qui les projette vers les parties positives de gauche. L'intensité qui contribue à la baisse de potentiel de l'ensemble de la cible en dehors de la partie BD', est alors exprimée par :

$$(K - 1)\, i_f\, (1 - a)$$

Cette première approximation implique, qu'avec un balayage régulier, la quantité d'électricité qui retombe au cours du temps T_1 (temps d'impact réel, par image, retours déduits) est :

$$q = (K - 1)\, i_f\, (1 - a)\, T_1$$

Elle est répartie uniformément sur les N « points » de la cible ce qui détermine une baisse de potentiel moyen :

$$V = \frac{q}{\gamma}$$

γ étant la capacité totale de la cible.

Cette tension V, qui se retranche du « plafond » u_f, détermine le potentiel minimum de la surface de la cible :

$$u_{min} = u_f - (K - 1)\,(1 - a)\,\frac{T}{\gamma}\, i_f$$

En agissant principalement sur les facteurs i_f et γ, il est possible de fixer le point de fonctionnement de départ, u_{min}, à une valeur qui correspond à un rendement acceptable. Les coefficients K et a sont moins faciles à ajuster ; K est, en général, déterminé par la couche de cæsium et a est compris entre 0,1 et 0,3. Une plus grande rapidité de montée (cibles de faible capacité) limiterait d'ailleurs l'action des photoélectrons dans le cas des forts éclairements.

INTERVENTION DE LA LUMIÈRE

Dans le cas du supericonoscope, c'est par l'intermédiaire de l'image électronique, issue de la photocathode éclairée, que le potentiel de la cible est modifié et donne ainsi naissance à la modulation lors du passage du faisceau d'analyse.

Considérons, comme de coutume, dans un but de simplification, le cas d'un seul point éclairé. La cible reçoit donc, en permanence, sur la surface d'un « point image », un filet électronique émis par la section correspondante de la photocathode. Ce jet à grande vitesse provoque une émission secondaire.

Le potentiel de la surface d'impact monte, en suivant la loi définie pour la cible unique, puisque l'ensemble de la cible (99 %) est pratiquement maintenu au potentiel le plus bas (u_{min}) et que le point « éclairé » est, en moyenne, assez éloigné du champ important qui suit l'impact mobile.

Supposons un accroissement u_p au cours d'une période de renouvellement d'image.

Lorsque le spot mobile d'analyse vient frapper ce point, la courbe de montée B_1D_1 (fig. 4) est sensiblement plus courte que celle observée BD, dans l'obscurité.

Par contre la branche horizontale D_1C_1 est plus longue, ce qui signifie que, sur la partie AD', le retour des électrons secondaires est constamment au maximum $(K - 1)\, i_f$.

Cet accroissement du retour, fonction de la différence entre C_1D_1 et CD, (obscurité) crée l'impulsion, dite de modulation.

Pour de faibles valeurs de u_p et pour u_{min} donné, (petits éclairements) on admet que cette impulsion,

définie par CC_1 est proportionnelle à u_p, ce qui revient à dire que les montées BC et B_1C_1 sont parallèles. (fig. 5). Cette approximation n'est plus valable pour les forts éclairements, mais elle permet de se rendre compte de la valeur optima de u_{min} à rechercher.

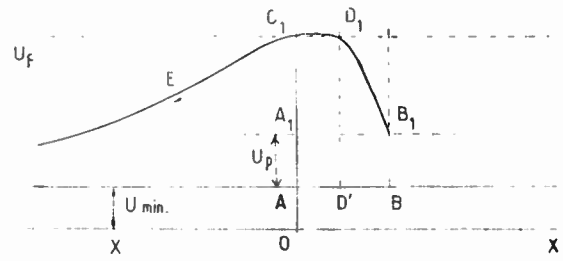

FIG. 4

Nous avons vu que l'accumulation, créant la tension u_p peut être exprimée par une relation établie dans notre précédent article.

$$u_p \quad T \frac{i_p}{c}\left(K_1 e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{u_{min}}{V_1}\right)^2} \quad 1\right)$$

(T, période d'image, i_p intensité d'origine photoélectrique, C capacité d'un point image, K_1 coefficient d'émission secondaire relatif au transfert d'image ; V_1, abcisse du maximum de la courbe de répartition des vitesses des électrons secondaires).

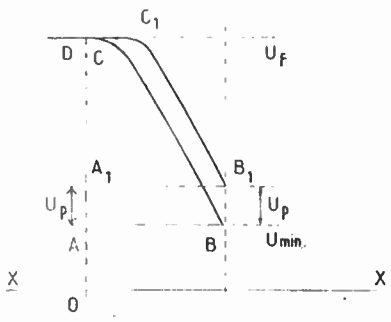

FIG. 5

u_p est donc maximum quand le potentiel de départ u_{min} est nul. Il y a une autre condition de bon rendement, c'est d'obtenir avec la tension u_p le maximum de variation dans le retour des électrons secondaires au moment du saut de potentiel créé par le faisceau d'analyse.

L'intensité de retour est une fonction complexe du potentiel de départ u_{min} ; on peut cependant concevoir que sa modification est maximum, pour un même accroissement u_p, quand le potentiel de base u_{min} coïncide avec la valeur V_1, qui correspond au maximum de la courbe spectrale que nous avons dénommée $f(v)$.

Le réglage de u_{min} apparaît ainsi comme devant être choisi entre zéro et V_1, qui est de l'ordre de 1,5 V à 2 V. On retrouve alors, un résultat assez proche de celui que nous avons pu calculer avec une cible mince, quasi équipotentielle.

Ces considérations très simplifiées nous permettent de préconiser une tension de fonctionnement positive, voisine d'un volt, par rapport au potentiel d'anode.

APPLICATION

Les formules précédentes et la connaissance de différents paramètres (1) déterminent la capacité γ de la cible qui correspond au rendement maximum.

Avec les surfaces d'analyse imposées par l'encombrement des tubes pour caméra de reportage et la nature du diélectrique, on trouve par exemple, que des épaisseurs de 5 à 6 μ d'alumine ou de 9 à 10 μ de mica doivent fournir des solutions acceptables du point de vue de la sensibilité.

Par contre, si l'on compare les possibilités de débit par rapport à l'iconoscope normal par exemple, dont la cible est quatre fois plus grande, on est désavantagé ; par surcroît, si l'on utilise le tube comme analyseur en haute définition, l'intensité débitée devra être encore plus élevée, à égalité du rapport souffle-modulation.

La capacité de la cible serait ainsi le double de celle déterminée ci-dessus, c'est-à-dire que l'épaisseur du diélectrique ne devrait guère dépasser 3 μ (alumine) ou 5 à 6 μ (mica).

Il apparaît qu'un compromis est admissible, entre la sensibilité et la puissance ; l'expérience a été réalisée et les tubes obtenus semblent présenter assez de qualités pour justifier l'exploitation.

QUELQUES DÉTAILS SUR LE SUPERICONOSCOPE A DÉVIATION ÉLECTROSTATIQUE ET CIBLE AUTO-POLARISÉE

Les premières réalisations de tubes d'analyse à transfert d'image comportaient uniquement des dispositifs de concentration et déviation magnétiques, qui ont évidemment l'avantage de rendre plus aisée la construction des tubes ; cette solution introduit, par contre de sérieuses difficultés tant dans le réglage de la géométrie des explorations, que dans l'uniformité de la définition.

Ces difficultés ont été a peu près vaincues par l'emploi de blindages à haute perméabilité et de champs de compensation ; le réglage reste délicat ; car il suffit d'une très faible composante à la fréquence de lignes, agissant sur le transfert d'image pour créer une perte de définition.

Les déviations, à champ électrique, du faisceau d'analyse, n'exigent pas d'aussi minutieuses précautions et une étude du canon, très diaphragmé, de la forme et des dimensions des plaques déviatrices, a permis de disposer d'un faisceau mobile véhiculant jusqu'à 0,3, voire 0,5 microampère, en conservant une finesse suffisante pour la haute définition (fig. 6).

Dès lors, il apparaît que le supericonoscope constitue actuellement la solution pratique pour la prise

(1) Par exemple : $\begin{cases} u_1 \quad 3V \quad a \quad .1 \quad T_1 = 3.1 \cdot 10^{-2} \\ 2 \quad = 0,3.10^{-6} \quad K = 4 \end{cases}$.

de vue, et aussi le télécinéma à haute définition.

La qualité de l'analyse dépasse d'assez loin ce qui a été réalisé avec les tubes à électrons lents et a sensibilité a permis de travailler, de jour, avec

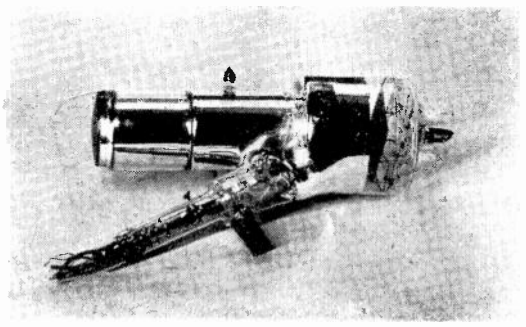

Fig. 6. Tube analyseur à cible auto-polarisée

des lumières faibles (300 lux) avec des objectifs normaux de grande profondeur de champ (fig. 7).

En lumière artificielle (spectre du petit projecteur de 500 W, Mazda), on donne des images bien dégagées du souffle avec des éclairements de scène de 500 lux. La correction des taches reste toujours très faible et stable.

TÉLÉCINÉMA

On sait qu'une grande faveur, d'ailleurs tout à fait justifiée dans les émissions de qualité moyenne, 400 à 500 lignes, a été accordée au système dit « flying-spot », qui perpétue, de nos jours, la vieille idée (1910) du Suédois Ekstrôm, du « point lumineux mobile ».

Le principal avantage de cette méthode sur celle ordinaire de l'iconoscope réside dans la disparition des « taches », mais elle n'utilise pas l'accumulation, et, malgré l'emploi de tubes cathodiques puissants on est limité dans la sensibilité. Le rapport souffle-modulation devient trop élevé, tout au moins avec les éléments dont nous disposons, si l'on dépasse 600 lignes, surtout si l'on introduit, comme il est nécessaire, un correcteur automatique d'amplitude (correcteur de γ).

Nous avions déjà pensé que la grande sensibilité du supericonoscope, permettant pratiquement la suppression, ou tout au moins, les réglages répétés du compensateur de tache, procurerait dans l'analyse des films, une meilleure qualité que l'iconoscope. Mais il fallait aussi éviter ce qu'on dénomme le « nuage blanc » et qui apparaît en général, aux extrêmités des balayages, en bas et à droite des images, lorsque celles-ci, au voisinage des plages finales, présentent des fonds noirs.

Nous avons pu montrer, il y a quelques années, que ces perturbations étaient produites par une raréfaction de la pluie d'électrons secondaires, et nous avons décrit une méthode, qui a été vérifiée expérimentalement, pour supprimer ce défaut (1).

Il était à craindre que ce même inconvénient intervienne sur les cibles des supericonoscopes ; or il est pratiquement invisible, avec des surfaces, réduites de cible et un courant d'analyse suffisant.

Le retour des électrons secondaires est beaucoup plus uniforme, puisqu'il s'agit de surface de l'ordre du quart de celle de l'iconoscope et, d'autre part, l'intensité de l'émission secondaire totale est supérieure, car à celle, déjà augmentée du faisceau, s'ajoute celle du transfert électronique d'image.

On obtient ainsi une solution de l'analyse des films ne nécessitant pas un dérouleur spécial, ni une source complexe, et présentant un excellent rapport souffle-modulation, en haute définition.

Il est à noter que ce dispositif rend possible une unification du matériel d'exploitation, simplifiant celle-ci.

Fig. 7. — Caméra de reportage

Dans ces études, qui s'étendent sur plusieurs années, nous devons citer, en plus des ingénieurs déjà nommés, la collaboration, dans le domaine des tubes et de leur mesure, de : Messieurs Freytag, Paumier, Chauffard, Veron, au laboratoire de Corbeville, dirigé par Monsieur Dufour, et, dans celui des caméras et amplificateurs, de : Messieurs Lamblot, Thomas, Tafflet, Guilherm, Toulemonde, la coordination d'ensemble étant assurée par Monsieur Strelkoff.

(1) C. R. Académie des Sciences, 9 septembre 1946.

LE GROUPE H. F. D'ALLOUIS-ISSOUDUN DE LA RADIODIFFUSION FRANÇAISE [1]

PAR

M. Armand GAILLARD,

Chef de Division à la Radiodiffusion Française

« La Radiodiffusion Française procède à l'équipement de son réseau métropolitain en émetteurs à ondes décamétriques pour la diffusion des programmes à moyenne et grande distances.

« L'auteur, après un bref historique des programmes établis avant 1939, fait le point des travaux réalisés à ce jour et donne une description complète du groupe H. F. à ondes courtes, situé au centre de la France, qui comprend deux centres émetteurs : le premier à ALLOUIS, dans le Cher et le second à SAINT-AOUSTRILLE, près d'Issoudun, dans l'Indre.

« Cet article fait suite à une conférence donnée à la Société des Radioélectriciens le 23 mai 1951 et aux visites du groupe H. F. effectuées les 23 et 24 juin 1951 par les membres de cette Société ».

La Radiodiffusion Française a réalisé, au titre du programme Paris-Mondial, l'équipement de la métropole en émetteurs à ondes décamétriques, destinés à la retransmission des programmes français vers les territoires de la France d'Outre-Mer et aux émissions culturelles vers les pays étrangers.

La réalisation du projet d'équipement étudié avant la guerre se poursuit encore actuellement, aussi est-il nécessaire d'en rappeler l'historique.

Historique.

En 1936, la commune d'Allouis située entre Bourges et Vierzon, près du centre géographique de la France, fut choisie comme emplacement pour l'installation de l'émetteur à ondes longues de grande puissance.

Afin de grouper des installations relativement importantes un centre émetteur à ondes courtes de grande puissance lui était adjoint.

La construction accélérée d'un premier groupe assurait à partir de 1939 une émission de 100 kW de puissance porteuse sur ondes décamétriques.

La construction du second groupe était entreprise simultanément : il se composait d'un ensemble permettant trois émissions simultanées sur ondes courtes de 100 kW porteuse, chacune.

Par ailleurs, la réalisation d'un second centre à ondes courtes était également entreprise dans la région d'Issoudun à 40 km environ d'Allouis : ce centre devait comprendre un ensemble de 12 émetteurs sur ondes courtes de 100 kW porteuse, chacun.

Les événements de 1939 ralentirent considérablement la construction du centre d'Issoudun qui ne devait pratiquement entrer dans sa phase active qu'en 1945.

En outre, à la libération du territoire français en 1944, les installations radioélectriques du centre d'Allouis O. L. et O. C. étaient totalement détruites.

La reconstruction du centre d'Allouis O. C. fut entreprise en septembre 1944 et les émissions sur 100 kW reprenaient progressivement.

En 1948, cinq émissions simultanées étaient assurées, ce qui permettait alors de diffuser les programmes de la Radiodiffusion Française et les programmes spéciaux de l'O. N. U. pendant sa session à Paris.

La construction du centre d'Issoudun permettait de mettre partiellement un premier groupe en service en 1950.

Fin 1951, l'équipement d'Issoudun sera de huit émetteurs.

***

Le groupe H. F. d'Allouis et d'Issoudun représente un ensemble important pour la diffusion des programmes de radiodiffusion sur ondes décamétriques.

L'équipement de ce groupe comprendra en 1952 treize émetteurs de 100 kW pouvant fonctionner

(1) Communication présentée à la Société des Radioélectriciens le 23 mai 1951.

simultanément avec toute la souplesse désirable pour une exploitation rationnelle sur ondes courtes.

Nous allons examiner les équipements particuliers de chacun de ces deux centres.

***

CENTRE ÉMETTEUR à O. C. D'ALLOUIS

Le centre émetteur à ondes courtes de grande puissance a été érigé sur le territoire de la commune d'Allouis, situé entre Bourges et Vierzon aux confins de la Sologne et du Berry.

Après la destruction complète des installations techniques en 1944, la Radiodiffusion entreprit les travaux de reconstruction afin de rendre à l'ex-centre Paris-Mondial toute son activité.

Sur la partie nord-est du terrain réservé aux ondes courtes (la partie sud-ouest étant utilisée par le centre à ondes longues) deux bâtiments distincts abritent les installations radioélectriques : (fig. 1)

1. — Un petit bâtiment, *dénommé O. C.* 1., qui comprend un émetteur de 100/130 kW, conçu pour fonctionner dans les bandes de 31, 41 et 49 mètres, et qui peut être commuté à volonté sur l'une des 6 antennes doublets orientées dans le sens Nord-Sud et Ouest-Est.

2. - Un bâtiment plus important, *dénommé O. C.* 2, abrite une installation récente de deux ensembles émetteurs permettant d'assurer 4 émissions simultanées dans les bandes de 6 à 21 Mc/s (13 m à 49 m) sur antennes directives en losange.

Les émissions reprises dès 1946 par le centre d'Allouis se complètèrent peu à peu pour réaliser 5 émissions simultanées dès 1948.

A. Bâtiment O. C. 1.

Ce bâtiment abrite un émetteur reconstitué avec des éléments de l'ancienne station qui ont échappé à la destruction. L'émetteur fonctionne dans les bandes des 31, 41 et 49 m, un second émetteur de 10 kW fonctionne sur l'onde de 49 m.

L'émetteur de grande puissance est du type à modulation à contrôle d'anode, l'étage à haute fréquence est équipé avec des tubes démontables à chauffage à courant continu.

Le changement de fréquence s'effectue par commutation manuelle. La fréquence porteuse est obtenue à partir de maîtres-oscillateurs de précision avec alimentations stabilisées.

La haute tension des étages de puissance est fournie par deux redresseurs à vapeur de mercure à cuve démontable.

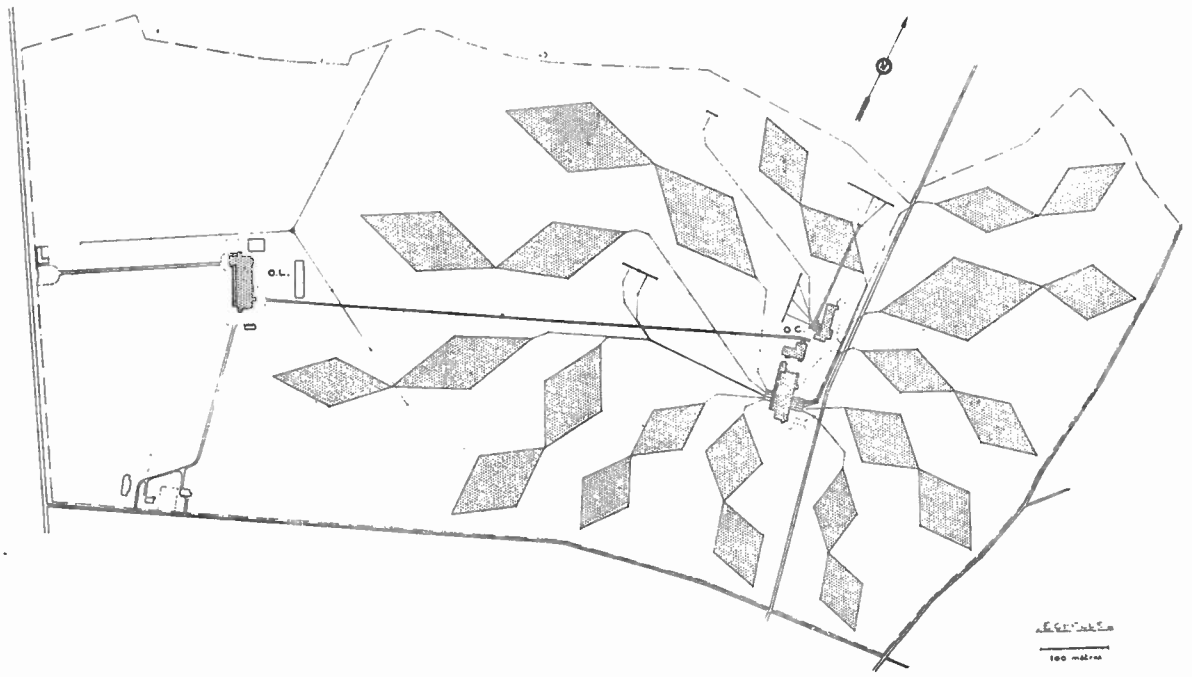

Fig. 1. - Plan de situation du Centre émetteur d'ALLOUIS.

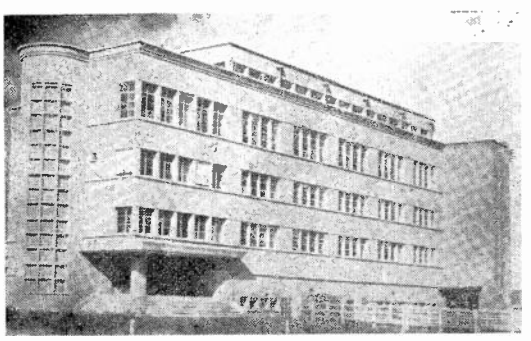

Fig. 2. — Vue extérieure du bâtiment ALLOUIS O. C. 2.

Les tensions de chauffage sont obtenues par machine tournante et les diverses tensions moyennes et tensions de polarisations par redresseurs statiques.

B. — Bâtiment O. C. 2 (fig. 2).

Le bâtiment contenant les installations est construit en béton armé en quatre étages : fort endommagé à la libération, il fut remis en état et rééquipé avec du matériel initialement prévu pour le centre d'Issoudun, et construit par la C. F. T. H.

L'adaptation à ce bâtiment d'un matériel conçu pour une autre station exigea une étude particulière et de sensibles modifications.

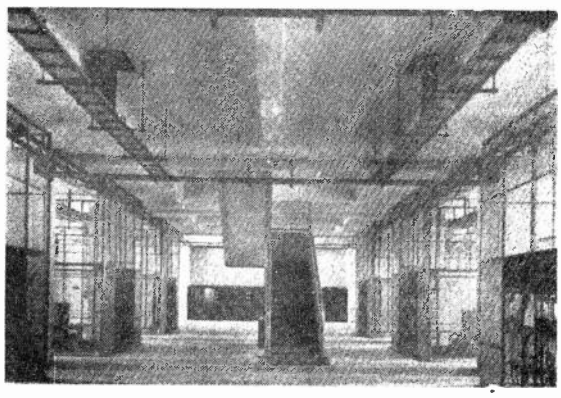

FIG. 3. — Entresol : cellules hydrauliques.

Il comprend deux groupes d'émetteurs distincts et indépendants.

Chacun des groupes est muni de sources nécessaires à son fonctionnement ; un jeu de sources supplémentaire peut servir de secours à l'un ou l'autre groupe.

Répartition du matériel dans le bâtiment.

Le sous-sol contient la centrale hydraulique et les organes de chauffage et de conditionnement d'air du bâtiment.

Le rez-de-chaussée contient les organes lourds : transformateur de distribution de l'énergie électrique des services généraux, les redresseurs H. T. d'alimentation des étages de puissance des émetteurs et leur filtre, les transformateurs et les selfs de modulation, ainsi que différents dispositifs de télécommande et de régulation.

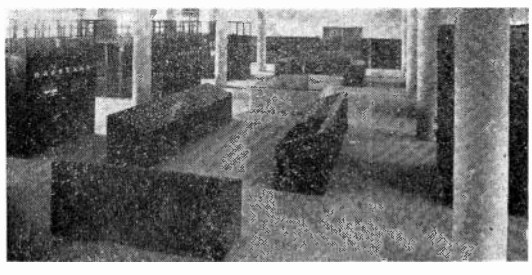

FIG. 4. — Salle d'émission d'ALLOUIS O. C. 2.

L'entresol renferme le matériel hydraulique de réfrigération des tubes de puissance : canalisations, serpentins, cellules de contrôle et de sécurité (fig. 3).

Le premier étage abrite le matériel radioélectrique proprement dit, (chaînes H. F. et B. F.) les pupitres de commande et de contrôle, le pupitre de commutation d'antennes, les bancs de formation des tubes démontables.

Une galerie placée à la partie supérieure du premier étage est équipée de commutateurs spéciaux de départ vers antennes.

Description du matériel.

a) Le poste de transformation est alimenté par deux câbles triphasés amenant l'énergie électrique sous 5 500 V (2 600 kW par câble). Il alimente :

les services auxiliaires des émetteurs en basse tension 380 V (500 kVA)

les services généraux du centre en basse tension 115/200 V (225 kVA).

les redresseurs H.T. directement sur 5 500 V (2 000 kVA).

Tous les organes du poste sont prévus en double.

b) Les redresseurs à haute tension placés au rez-de-chaussée sont au nombre de cinq : quatre en service et un en secours.

Ils sont alimentés directement en 5 500 V. Ils fournissent à l'aide de 3 ampoules à vapeur de mercure à cathode froide et à grille, de commande, 36 ampères sous 12 500 V.

Un redresseur alimente les étages intermédiaires et les étages de puissance H. F. et B. F. d'une chaîne d'émission.

c) Le matériel radioélectrique, installé au premier étage, comprend deux ensembles (fig. 4) de :

2 chaînes d'amplification basse fréquence (B.F.)

3 chaînes d'amplification haute fréquence (H.F.)

Ces dernières sont spécialisées et conçues pour fonctionner dans les gammes ci-après :

Chaîne 1, dite O. C. : de 21 à 17 Mc/s (13 à 16 m)

Chaîne 2, dite O. M. : de 15 à 9 Mc/s (19 à 31 m)

Chaîne 3, dite O. L. : de 9 à 6 Mc/s (31 à 49 m)

L'une quelconque des chaînes H. F. peut être reliée à l'une des chaînes B. F. pour former une chaîne complète d'émission. Au total, 4 chaînes d'émission peuvent être réalisées et fonctionner simultanément, chacune d'elles pouvant être commutée sur l'une des 12 antennes directives disposées sur le terrain.

La puissance de chaque émission est variable avec la fréquence : elle est de 80 kW sur l'onde la plus courte et de 130 kW sur l'onde de 49 m.

A chaque groupe d'émetteurs est affecté un meuble de maîtres-oscillateurs pilote à quartz, capable de délivrer 12 fréquences stabilisées et attaquer, par le jeu d'un commutateur spécial, les préamplificateurs H. F. des 3 chaînes.

Les maîtres-oscillateurs sont constitués par un thermostat et son quartz, un séparateur doubleur et un amplificateur.

Trois auto-oscillateurs de secours peuvent être substitués au pilote à quartz en cas de panne de quartz ou en cas d'émission spéciale.

Les chaînes de puissance haute fréquence comprennent :

— 1 deuxième doubleur de fréquence,

— 1 amplificateur de 1 kW,

— 1 étage intermédiaire de 10 kW à refroidissement par eau,

1 étage de puissance équipé de deux tubes démontables à vide entretenu.

Les circuits oscillants d'anode et les organes de couplage des feeders de départs sont constitués par des inductances symétriques variables réfrigérées par l'eau des tubes d'émission, et des condensateurs symétriques également variables.

Le couplage au feeder s'effectue par une boucle inductive du circuit d'adaptation d'impédance au feeder intérieur, dont l'impédance caractéristique est de 450 ohms.

Les commandes nécessaires au réglage de tous ces circuits sont placés sur la face avant de la cellule et des appareils de mesure placés au-dessus.

La chaîne basse fréquence est constituée par une suite de quatre étages amplificateurs dont le dernier est l'étage modulateur de puissance qui débite par l'intermédiaire d'un transformateur de modulation dans un circuit formé par une inductance et une capacité, placé en série dans l'alimentation H. T. de la chaîne H. F.

Le modulateur qui fonctionne en classe B est équipé en tubes à refroidissement par eau à cathode triphasée.

Malgré le chauffage en courant alternatif brut des tubes de puissance, qui provoque un bruit de fond relativement important, une contre-réaction totale H. F. (20 db) permet d'obtenir une qualité correcte des émissions : le taux de modulation résiduelle par rapport au taux de modulation de 100 % à 1 000 c/s est de 55 db sans filtre, et 70 db avec interposition d'un filtre psophométrique.

Les dispositifs de contre-réaction H. F. s'appliquant à la totalité des étages d'un même émetteur ont été conçus de façon à ce que les réglages soient indépendants de la fréquence d'émission et de la composition de la chaîne d'émission (couplage chaîne H. F. — chaîne B. F.).

La courbe amplitude-fréquence est constante à 0,5 db près et le taux de distorsion non linéaire inférieur à 2 % dans la bande 30/5 000 c/s.

Les ensembles émetteurs ont été conçus afin d'obtenir une grande facilité d'exploitation : les changements de longueur d'onde, la commutation des programmes et des antennes sont réalisés de façon simple avec signalisation lumineuse des opérations et des fausses manœuvres ; un système de sécurité rend ces dernières inopérantes. Une antenne fictive permet d'effectuer les réglages et les mesures de qualité en local.

La sécurité du personnel est assurée au moyen d'un système mécanique qui empêche l'accès des cellules tant que les tensions de 2e catégorie ne sont pas coupées et que les circuits susceptibles de conserver une charge électrique élevée ne sont pas mis à la terre.

Tubes démontables à vide entretenu (fig. 5).

Les tubes de puissance de l'étage haute fréquence sont du type démontables à vide entretenu.

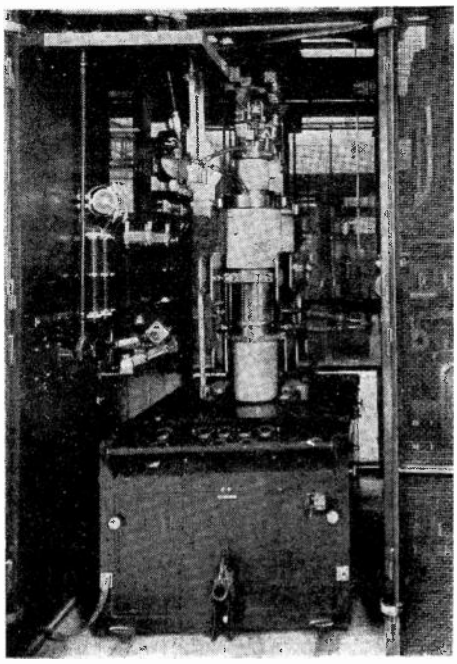

Fig. 5. — Cellule triode démontable de l'étage de puissance.

Ils comprennent :

La triode proprement dite, dont la cathode est chauffée en courant alternatif triphasé. L'anode en cuivre est refroidie par eau. Une prise spéciale est reliée à la grille de façon que l'inductance de grille soit aussi faible que possible.

Deux tubes sont montés sur un chariot dans lequel est groupé le matériel de pompage qui comprend :

1 pompe rotative à palette à commande automatique par mesure du vide. La pompe abaisse la pression à environ 1/100 de mm de mercure.

1 pompe à condensation à vapeur de mercure qui abaisse la pression à environ 1/1 000 de mm de mercure.

1 pompe à condensation de vapeur d'huile qui fait directement le vide dans les tubes d'émission.

L'ensemble fonctionne sous le contrôle de nombreux appareils pour la sécurité relative au vide, au débit d'eau et aux tensions de chauffage.

Chaque chariot se déplace rapidement afin d'être remplacé par un ensemble identique en cas d'incident.

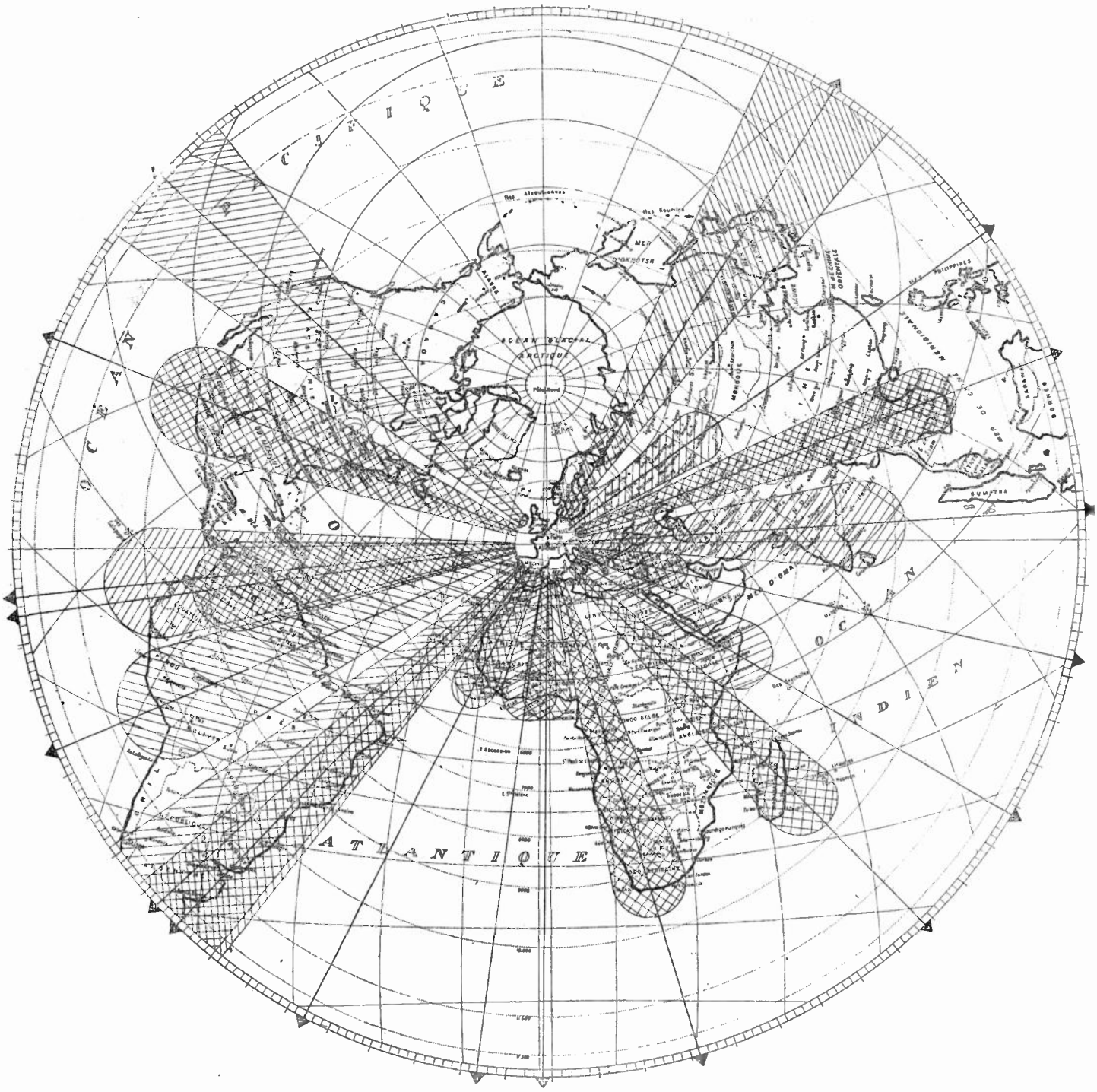

FIG. 6. — Carte mappemonde Centre ALLOUIS avec faisceaux des antennes directives en service au 1er janvier 1951.

Outre les 6 chariots installés sur la chaîne H. F. deux chariots sont en permanence sur un banc de formation pour parer à tout incident.

Réfrigération des émetteurs.

Les calories dissipées dans les tubes à refroidissement par eau sont évacuées dans un double circuit hydraulique :

— l'un à eau distillée parcourant les cuves des tubes d'émission transporte les calories dans un échangeur thermique ;

— l'autre à eau brute, qui s'échauffe dans l'échangeur thermique et dissipe les calories par vaporisation dans l'atmosphère au moyen de tuyères placées au-dessus des bassins extérieurs.

La centrale hydraulique comprend :

— 3 groupes moto-pompe à eau distillée de 65 m³ par heure,

— 3 échangeurs thermiques de 500 000 calories,

— 3 groupes moto-pompe à eau brute de 130 m³ par heure.

Un ensemble pompe d'eau pure, un échangeur et une pompe eau brute est affecté à un groupe d'émetteurs. Le 3e groupe sert de secours en cas d'incident ou pendant les travaux de maintenance.

Commutation d'antennes.

Le bâtiment est érigé au centre du terrain où sont implantés les aériens en losange ; les feeders de départ rayonnant autour du bâtiment.

Quatre feeders intérieurs qui partent des chaînes H. F. circulent le long d'une galerie placée autour de la salle d'émission et viennent alimenter les départs vers antennes.

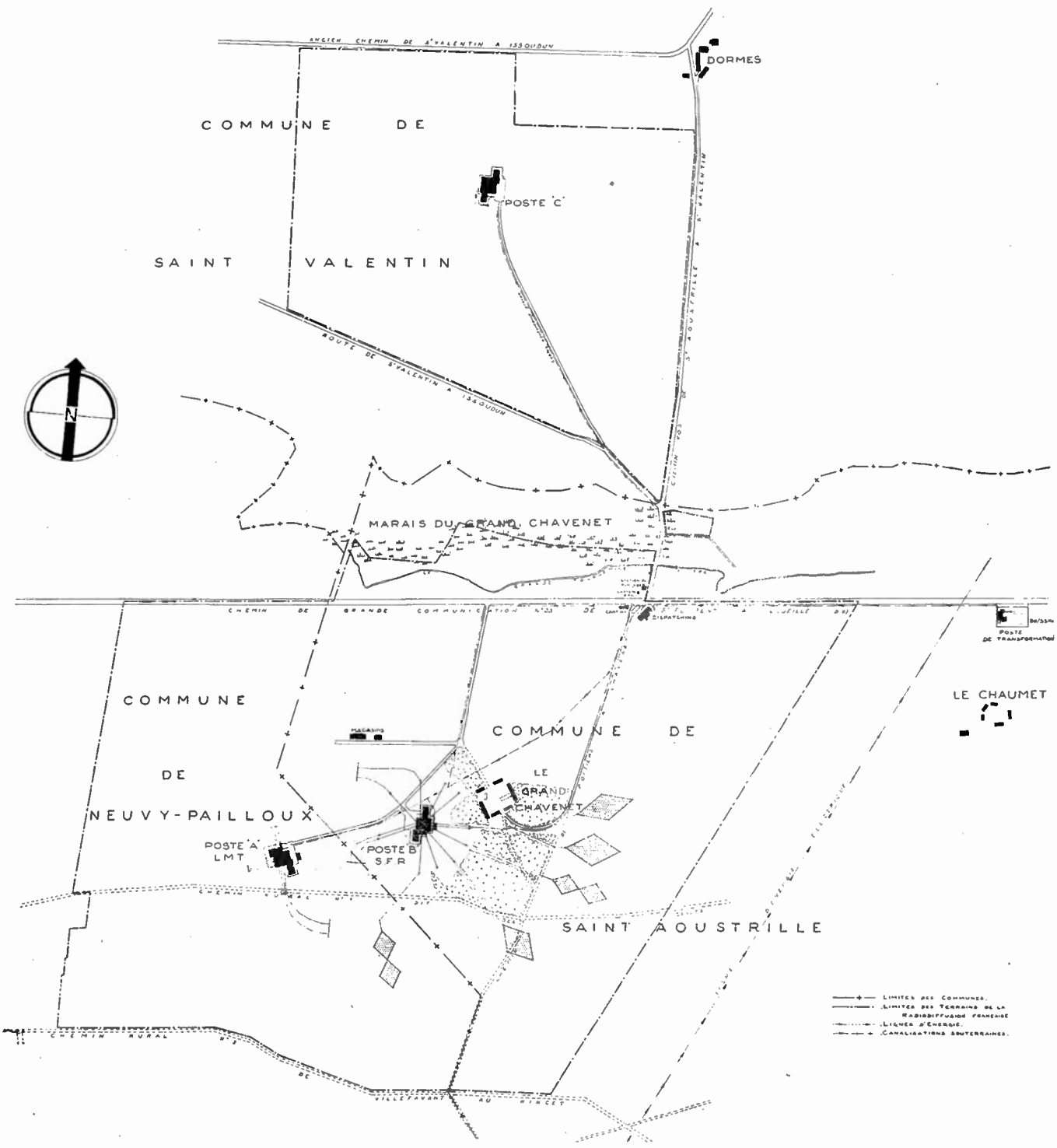

FIG. 7. — Plan de situation du Centre émetteur d'ISSOUDUN.

La commutation des chaînes H. F. vers les aériens, assurée au moyen de servo-moteurs, est entièrement automatique ; une commande manuelle reste possible comme secours. Le schéma permet d'attaquer n'importe quelle antenne par n'importe quel émetteur sans risque de fausse manœuvre ou interruption des émissions en cours.

Un schéma lumineux permet à l'opérateur de service dans la salle d'émission de contrôler à tout moment la position des chaînes et des liaisons côté antennes.

Toutes les précautions sont prises pour réaliser correctement cette distribution ainsi que pour éviter le moins de discontinuité possible sur les feeders intérieurs dont le taux d'onde stationnaire est inférieur à 10 %.

L'adaptation entre les feeders intérieurs et les feeders extérieurs, dont les impédances caractéristiques respectives sont de 150 et 600 Ω, s'effectue à l'aide de ligne en « delta » ou feeder bifilaire à écartement progressif de 50 mètres environ de longueur.

Dispatching.

Les courants modulateurs des divers programmes viennent de Paris par câbles spéciaux et sont dirigés à leur arrivée à Allouis dans une salle appelée « dispatching » dont le rôle a un double but :

1. - Distribuer les courants modulateurs vers les chaînes d'émission préparées préalablement par les opérateurs de la salle des émetteurs, sur ordre du « dispatcher ».

2. - Contrôler à tout moment le taux de modulation et la qualité des émissions.

Cette disposition permet une utilisation intensive des émetteurs à ondes courtes, dont l'exploitation particulière exige de fréquents changements de longueur d'onde et d'antenne afin de répartir les programmes vers les nombreuses régions du globe à desservir (fig. 6).

***

CENTRE ÉMETTEUR à O. C. D'ISSOUDUN

Le centre émetteur à ondes courtes d'Issoudun est situé sur les communes de Neuvy-Pailloux, St-Aoustrille et St-Valentin à 7 km de la Ville d'Issoudun (fig. 7)

Le terrain, divisé en deux parcelles par le chemin G C N° 23, a une superficie d'environ 300 ha.

Les installations comprennent :

1. - Trois bâtiments usine, abritant les émetteurs, capables d'assurer chacun quatre émissions simultanées, soit au total douze émissions simultanées possibles.

2. - Un bâtiment central « Dispatching » réservé à l'arrivée et à la commutation des courants modulateurs et aux contrôles des émissions. Les services administratifs du centre sont groupés dans ce bâtiment.

3. - Un poste de transformation 90 000/5 500 V, destiné à l'alimentation en énergie électrique du centre.

4. - Une station de pompage placée près de la rivière « La Tournemine », pour l'alimentation en eau du centre.

5. Les logements du personnel de maîtrise.

A. Bâtiments-usines.

Les trois bâtiments-usines sont répartis sur le terrain de façon à permettre l'implantation des aériens directifs.

Ces bâtiments, étudiés en 1942, ont été réalisés compte tenu des difficultés de l'époque avec le minimum de développement. Ils sont construits en murs de maçonnerie avec toitures en tuiles, à l'exclusion de béton armé et de terrasses.

Les deux premiers, dénommés A et B, placés sur la parcelle sud du terrain à 350 m environ l'un de l'autre, sont destinés à desservir :

le groupe A, toutes les régions de la planète situées côté Ouest.

le groupe B, toutes les régions situées côté Est.

Le troisième bâtiment, dit groupe C, est construit sur la parcelle nord du terrain ; il est entièrement dégagé et peut desservir toutes les zones de la planète.

L'équipement du groupe A a été confié à la Société « LE MATERIEL TELEPHONIQUE » et l'équipement du groupe B à la SOCIÉTÉ FRANÇAISE RADIOELECTRIQUE.

Le matériel du groupe C dont la fourniture avait été confiée à la COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON a été en partie utilisé pour le rééquipement du centre d'Allouis mis hors service en 1944.

Les matériels radioélectriques commandés en 1939 ont été étudiés pendant les années d'occupation et réalisés avec les moyens et matières disponibles. Cependant, s'ils ne suivent pas toujours les progrès des dernières techniques radio, des solutions hardies et des détails particuliers donnent à l'ensemble des installations un caractère remarquable.

Le bâtiment du groupe C, dont la construction avait été entreprise en 1942, a été mis hors d'eau : il est entièrement clos et couvert. Son équipement définitif sera ultérieurement déterminé, compte tenu des besoins futurs ; le choix de la solution technique dépendra alors des conditions d'utilisation des heures-fréquences et des liaisons à effectuer.

Le poste A est actuellement en cours de montage et de réglage ; le poste B est en exploitation partielle. Ils ont chacun une composition sensiblement identique à celle du centre d'Allouis O. C. 2, à savoir :

- deux ensembles formés chacun de deux chaînes d'amplificateurs B. F. et trois chaînes d'amplificateurs H. F., l'une quelconque des chaînes H. F. pouvant être reliée à l'une des chaînes B. F., pour former une chaîne complète d'émission.

— un ensemble de commutation permettant la liaison de l'une quelconque des quatre chaînes d'émission à l'une des douze antennes.

— les sources d'alimentation en énergie électrique et les dispositifs hydrauliques de réfrigération des tubes.

— les services généraux du poste.

Il va sans dire que la sécurité du personnel a fait l'objet de soins attentifs dans toutes les installations du centre d'Issoudun : verrouillages mécaniques, ser-

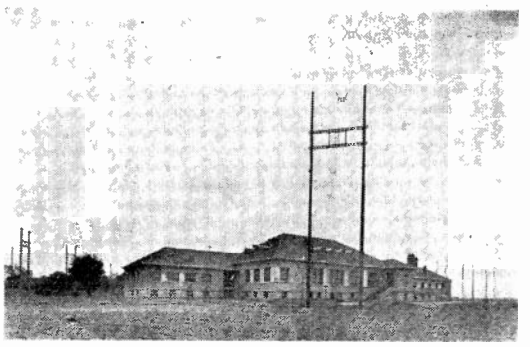

Fig. 8. — Vue extérieure du bâtiment B d'ISSOUDUN.

rures de sureté, manœuvres préalables de mise à la terre des circuits comprenant de fortes capacités, permettent d'accéder dans les enceintes en l'absence de toutes tensions dangereuses.

GROUPE B

Les installations du bâtiment B sont partiellement en service depuis Octobre 1950 ; quatre émissions pourront être assurées dans le courant de 1951.

Douze départs sont prévus pour alimenter des antennes directives ou omni-directionnelles.

La position du bâtiment sur le terrain spécialise les émissions dirigées de ce groupe dans le secteur Nord-Sud côté Est, c'est-à-dire vers les pays d'Europe Centrale, l'Asie, le Proche-Orient et l'Afrique.

Des antennes omni-directionnelles permettent d'arroser tous les pays situés dans un cercle de 1 000 à 1 500 km de diamètre environ.

Bâtiment (fig. 8).

Il comporte : *un sous-sol* dans lequel sont répartis les diverses sources d'alimentation des émetteurs, les tableaux de contacteurs et de commande automatique, et les services hydrauliques ;

un rez-de-chaussée où se trouvent placés les meubles émetteurs proprement dits, avec tous leurs accessoires, tels que pupitres de commande et de contrôle, les baies des maîtres-oscillateurs, et à l'arrière : les redresseurs H. T. avec leurs cellules de filtrage, les transformateurs de modulation ainsi que la travée de l'arrivée générale de l'énergie électrique avec les diverses cellules de transformation.

Les meubles radioélectriques sont encastrés dans les cloisons formant une vaste enceinte, donnant ainsi un aspect particulièrement dégagé et agréable à la salle dite d'émission, dont trois côtés sont formés des façades des chaînes haute fréquence et basse fréquence, le quatrième côté directement sur l'extérieur par une baie vitrée.

Les pupitres et baies des petits étages sont répartis dans la salle permettant ainsi aux opérateurs de suivre, à tout instant, le fonctionnement du centre émetteur.

Les combles de la toiture qui abritent les feeders et commutateurs d'antennes, avec les départs vers les feeders extérieurs à travers les lucarnes.

Deux ailes, accolées au bâtiment principal, comprennent : l'une les services auxiliaires du groupe :

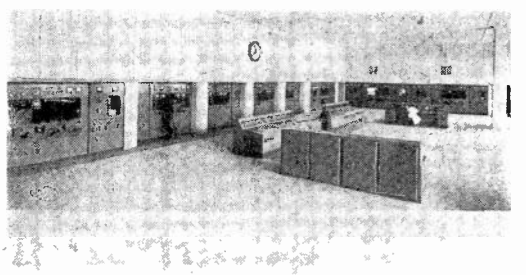

Fig. 9. — Salle d'émission du bâtiment B d'ISSOUDUN.

ateliers, magasins de lampes et de matériel, salle d'accus, etc... l'autre les bureaux administratifs et le logement du concierge-surveillant.

L'escalier de l'entrée principale donne accès au hall de réception qui dessert les bureaux et la salle d'émission.

Une entrée spéciale pour le matériel lourd permet la manutention rapide de celui-ci par palan et monorail dans les deux étages du bâtiment.

Energie électrique.

Trois câbles souterrains triphasés amènent l'énergie au bâtiment B depuis le poste de transformation 90/5,5 kV.

Une travée dite des services généraux, desservie par un jeu de barres omnibus à 5 500 volts comprend, outre les appareils de contrôle, de comptage et de protection, les départs vers les redresseurs H. T. des émetteurs, les cellules de transformation à 220/380 V pour les auxiliaires des émetteurs et à 110/190 V pour les auxiliaires du centre : éclairage, chauffage, force motrice, etc...

Matériel radioélectrique (fig. 9).

L'équipement radioélectrique du bâtiment B comprend les deux ensembles identiques formés chacun par deux chaînes B. F. et trois chaînes H. F., une quelconque des deux chaînes B. F. pouvant être commutée sur l'une des trois chaînes H. F.

Les chaînes H. F. sont spécialisées dans certaines gammes de fréquence ; l'ensemble couvre les bandes

de 6 à 21 Mc/s, avec une puissance de 130 kW sur la fréquence de 6 Mc/s et 80 kW sur 21 Mc/s, modulable à 100 %.

Les trois chaînes H. F. du bâtiment B sont réglées comme suit :

Chaîne I, dite chaîne O. L. — de 6 à 11 Mc/s avec cinq ondes préréglées sur 6, 7 et 11 Mc/s (49, 41 et 25 m)

Chaîne II, dite chaîne O. M. — de 9 à 15 Mc/s avec six ondes préréglées sur 9, 11 et 15 Mc/s (30, 25 et 19 m)

Chaîne III, dite chaîne O. C. — de 17 à 21 Mc/s avec trois ondes préréglées sur 17 et 21 Mc/s (16 et 13 m)

Un jeu de sources d'alimentation est affecté à chaque chaîne d'émission, un jeu commun de sources de secours peut être commuté sur l'une quelconque des 4 chaînes.

Ces sources sont constituées par des redresseurs statiques à cathodes chaudes ou des redresseurs secs pour les tensions de chauffage de polarisation et anodique des étages amplificateurs, sauf pour les étages de puissance H. F. et B. F. qui utilisent les redresseurs polyanodiques à cathodes froides pour

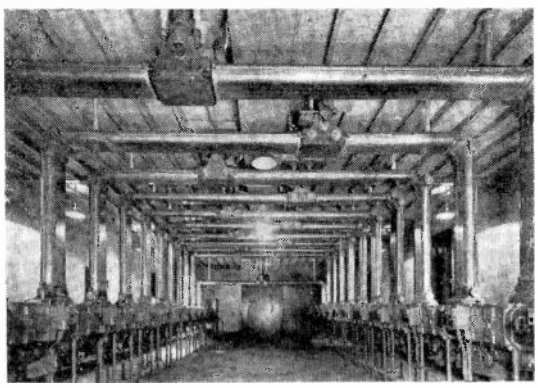

Fig. 10. — Commutateurs feeders-antennes. Bâtiment B d'ISSOUDUN

les tensions plaques et des machines tournantes pour le chauffage des filaments.

La modulation est du type à contrôle d'anode : l'étage de puissance des chaînes H. F. est alimenté en haute tension à travers le transformateur de modulation de l'étage final de la chaîne B. F. et la self de modulation, conformément au schéma classique bien connu. Les puissances délivrées par les chaînes H. F. étant variables avec la fréquence d'émission, le modulateur doit s'adapter aux différentes charges afin d'obtenir une émission de qualité dans toutes les gammes. Dans ce but l'étage intermédiaire H. F. est également modulé sur l'anode.

Les fréquences de pilotage de chacun des ensembles sont fournies par des maîtres-oscillateurs de précision qui sont équipés pour donner 11 fréquences réparties entre 6 et 21 Mc/s.

En outre, trois auto-oscillateurs permettent d'alimenter les trois chaînes dans les cas exceptionnels.

Un commutateur d'antennes à commande à distance permet d'aiguiller l'une quelconque des 6 chaînes H. F. sur l'une des 12 antennes reliées au bâtiment ou à l'antenne fictive pour mesures des qualités et pour réglages. (fig. 10)

Cette antenne fictive peut dissiper la puissance

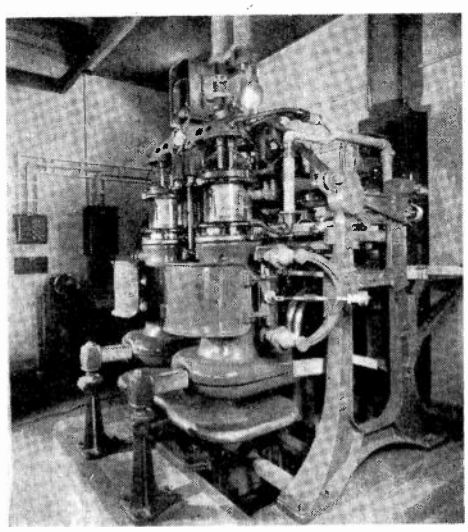

Fig. 11. — Etage de puissance équipé avec tubes scellés E. 3 056 (ISSOUDUN B).

délivrée par une chaîne H. F. (130 kW modulés à 100 % sur la gamme 6 Mc/s).

Les émetteurs sont conçus pour permettre un changement de longueur d'onde et d'antennes dans un temps inférieur à 15 minutes : commutateurs de

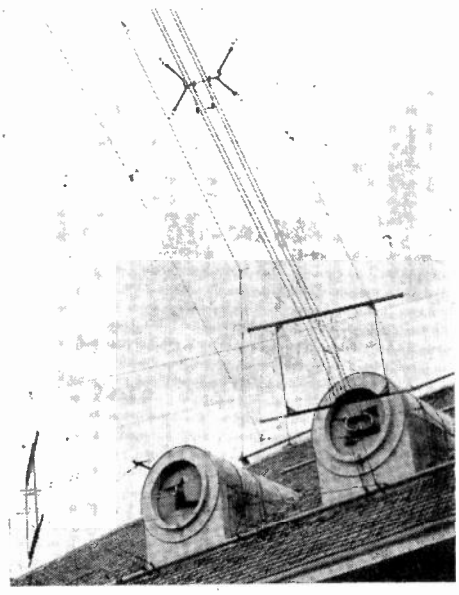

Fig. 12. — Lignes exponentielles 200 — 600 ohms.

sources de circuits H. F., de maîtres-oscillateurs et d'antennes.

Les étages de puissance H. F. sont équipés avec des tubes E. 3 056, ce qui constitue une première expérience de l'emploi des tubes scellés pour des

puissances aussi élevées sur les fréquences décamétriques (fig. 11).

Les résultats obtenus au cours des essais de réception du matériel radioélectrique ont permis de s'assurer que les émetteurs fournissaient des puissances de l'onde porteuse de 140 kW sur l'onde de Mc/s (19 mètres) et de 90 kW sur l'onde de 21 Mc/s (13 mètres) et que la qualité de la modulation était conforme aux cahiers des charges de la radiodiffusion : bruit de fond, bande passante et distorsion non linéaire jusqu'à 100 % de modulation.

Feeders et antennes.

La solution retenue par le constructeur pour l'alimentation des antennes d'émission mérite une attention particulière :

— L'impédance d'entrée des feeders et antennes imposés par la Radiodiffusion est de 600 ohms.

Pour diverses raisons, le constructeur a réalisé la distribution de l'énergie H. F. à la sortie-carreaux des bâtiments par l'intermédiaire de feeders blindés à deux conducteurs symétriques d'impédance 200 ohms.

L'adaptation de 200 à 600 ohms est obtenue ensuite, entre la sortie des lucarnes du bâtiment et les feeders de liaison aux antennes, à l'aide de feeders exponentiels de réalisation originale : d'une longueur de 150 mètres, chaque feeder se compose de trois tronçons de section et de constitution différentes, donnant la variation d'impédance recherchée dans toute la gamme d'utilisation des émetteurs, avec un taux d'ondes stationnaires relativement faible (fig. 12).

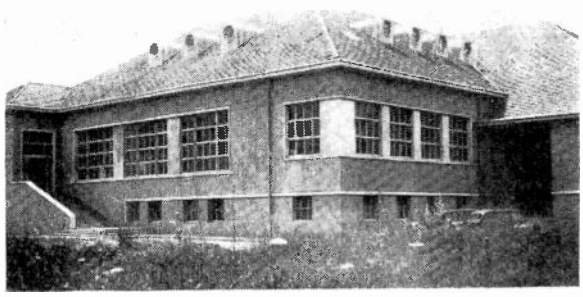

FIG. 13. — Vue extérieure du bâtiment A d'ISSOUDUN.

Services hydrauliques.

La réfrigération des tubes d'émission s'effectue à l'aide d'une circulation d'eau distillée qui transmet ses calories à un circuit d'eau brute par l'intermédiaire d'échangeurs.

L'installation, relativement importante, offre un intérêt particulier dans la partie destinée à évacuer les calories ; on utilise un réfrigérant à encombrement réduit qui permet d'assurer un refroidissement correct de l'eau brute avec le minimum de pertes d'eau.

L'eau distillée est obtenue à bas prix de revient avec des appareils à déminéralisation des eaux par dissociation totale des sels, d'un grand rendement. Un système permanent de contrôle de la résistivité de l'eau évite des incidents et signale le moment opportun de régénération des produits déminéralisants.

Services auxiliaires.

Les services auxiliaires du bâtiment B sont peu nombreux. Toutes les précautions ont été prises pour éviter les incidents par le jeu d'éléments de secours ou de réserve.

Une batterie d'accumulateurs de 110 V assure l'alimentation des circuits de commande et de contrôle du bâtiment ainsi que celle des feux clignotants destinés au balisage de nuit du centre pour la navigation aérienne.

Les appareils utiles aux principales mesures de maintenance et d'essais des émetteurs sont montés sur une baie roulante à la disposition des brigades d'entretien du bâtiment B.

Les baies d'amplificateurs de courants B. F. étant installées au dispatching, aucun appareillage de ce type ne se trouve dans le bâtiment usine.

GROUPE A

L'équipement radioélectrique du bâtiment est actuellement en cours de montage et de réglage. Sa mise en service est envisagée pour le deuxième semestre 1951.

Le bâtiment A aura ses émissions dirigées spécialisées dans le secteur Nord-Sud côté Ouest, c'est-à-

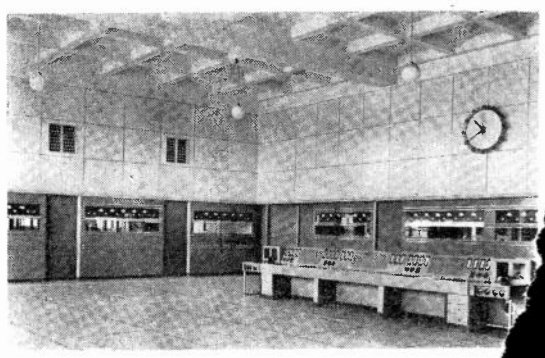

FIG. 14. — Salle d'émission du bâtiment A d'ISSOU

dire vers l'Afrique Occidentale, l'Amérique et l'Amérique du Nord, ainsi que les Antill Guyane Française.

Des antennes omni-directionnelles lui ser lement affectées pour les émissions destinées rope et l'Afrique du Nord.

Bâtiment. (fig. 13)

Le bâtiment est du même type que celui pe B :

Le sous-sol contient les diverses sources tation des émetteurs, les tableaux de com de contrôle automatique ainsi que les ser drauliques.

En outre, une partie importante du sous réservée comme entrepôt général du centre matériel lourd de rechange.

Le rez-de-chaussée abrite les meubles émetteurs avec leurs accessoires : pupitres de commande et de contrôle, baies des maîtres-oscillateurs et petits étages B. F.

A l'arrière de la salle des émetteurs se trouvent les redresseurs H. T. et leur cellule de filtrage, les transformateurs de modulation et à l'arrière-plan une travée pour l'arrivée générale de l'énergie électrique avec les cellules de tranformation pour la fourniture du courant B. T.

Les meubles radioélectriques sont encastrés dans les murs qui forment la salle d'émission : en face avant sont placés les 4 modulateurs B. F., sur chacun des deux côtés se trouvent les 3 chaînes H. F., la face arrière vitrée donne vue sur l'extérieur.

Dans les combles de la toiture se trouve une salle dite de « commutation des feeders » qui contient un distributeur de l'énergie H. F. venant des chaînes d'émission, allant aux départs vers antennes.

Deux ailes sont accolées au bâtiment principal :

l'une pour les services auxiliaires du groupe : atelier, magasins, salle d'accus, etc...

l'autre pour les bureaux administratifs et le logement du concierge.

Une trémie de manutention avec entrée séparée donne accès au matériel lourd pour distribution de celui-ci dans les deux étages, par palan et monorail.

Energie électrique.

L'arrivée d'énergie électrique est identique à celle du groupe B, à savoir : 3 câbles triphasés 5 500 V et les cellules de comptage et de transformation pour l'énergie basse tension à 220/380 V et 110/190 V

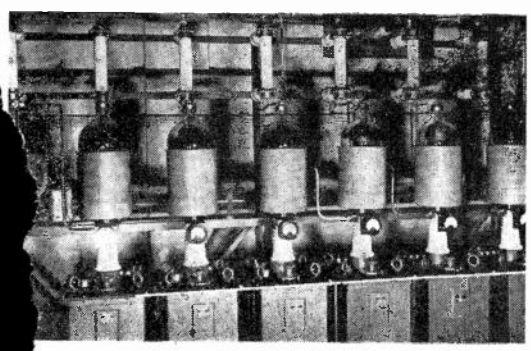

FIG. 15. — Redresseurs H. T. à cathodes chaudes.

...iel radioélectrique (fig. 14).

...uipement radioélectrique comprend deux en..., formés chacun par deux chaînes B. F. et ...aînes H. F., afin d'assurer suivant la gamme ...deux chaînes d'émission complète.

...haînes H. F., spécialisées par gamme, peu...e réglées comme suit :

...haîne I ou O. L. : de 6, 7 et 11 Mc/s (49, 11 ...m)

Chaîne II ou O. M. : de 9, 11 et 25 Mc/s (31, 25 et 19 m)

Chaîne III ou O. C. : de 17 et 21 Mc/s (16 et 13 m)

Un jeu de sources d'alimentation est affecté à chaque chaîne d'émission, un jeu de secours peut être substitué à l'un quelconque de ces jeux.

Les sources de courant continu sont toutes constituées par des redresseurs secs au Sélénofer, y compris celles réservées au chauffage des filaments des tubes de puissance qui sont alimentés en courant continu.

Toutefois, les redresseurs de haute tension pour

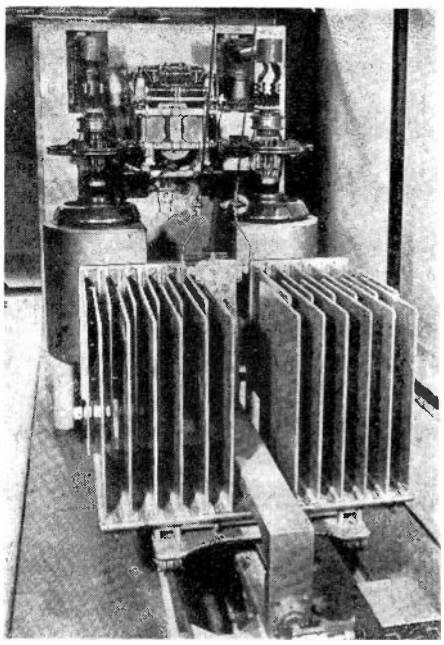

FIG. 16. — Etage de puissance et circuit de couplage feeder. (Bâtiment A).

l'alimentation des gros étages sont du type à cathodes chaudes et à commande par grille (fig. 15).

La modulation est du type à contrôle d'anode du montage classique : à noter toutefois que les tubes de l'étage final modulateur sont identiques à ceux de l'étage final modulé à haute fréquence, ce sont des tubes du type scellé (fig. 16).

Quatorze maîtres-oscillateurs à quartz et trois auto-oscillateurs sont prévus avec chaque ensemble émetteur : les fréquences sont réparties dans les gammes de 6 à 21 Mc/s suivant les besoins.

La commutation des chaînes et leurs réglages s'effectuent à l'aide de commande à distance par servo-moteurs, afin de réaliser rapidement les permutations d'émissions.

Feeders et antennes.

Le commutateur d'antennes à commande à distance permet d'aiguiller l'une des quatre chaînes d'émission vers les douze antennes et l'antenne fictive.

Ce commutateur, de conception originale, forme

une grande cage circulaire dans laquelle des bras rotatifs aiguillent les chaînes vers les départs d'antennes ; l'ensemble est réalisé en bois ignifugé et bakélisé afin d'éviter des inductions entre les feeders et l'ossature.

Toutes les précautions sont prises pour éviter de fausses manœuvres et donner la signalisation des schémas réalisés.

L'impédance des feeders intérieurs est de 100 ohms, aussi a-t-on réalisé des lignes exponentielles de 80 m à la sortie des lucarnes pour obtenir l'adaptation nécessaire au raccordement aux feeders extérieurs de 600 ohms.

Services hydrauliques.

La réfrigération des tubes d'émission s'effectue par une double circulation : eau pure eau brute.

Un réfrigérant à encombrement réduit a été utilisé pour la dissipation à l'air libre des calories développées sur les anodes des tubes.

L'eau distillée est produite localement dans un appareil à déminéralisation des eaux par dissociation totale des sels.

Services auxiliaires.

Les services auxiliaires du groupe A, très réduits, sont identiques à ceux du groupe B.

B. Bâtiment Dispatching.

Comme le centre d'Allouis, le centre d'Issoudun est équipé d'un poste central de commutation des

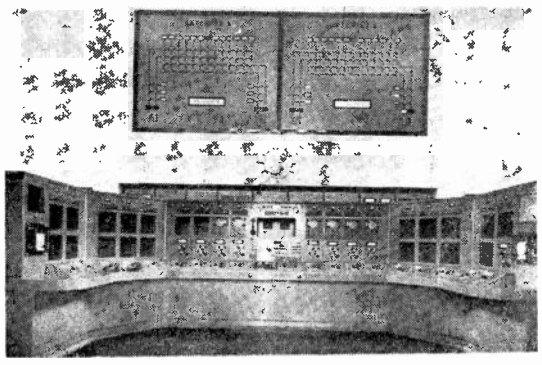

FIG. 17. — Salle du dispatching-pupitre de contrôle.

courants de modulation et d'un système de contrôle de la qualité des émissions.

Dans l'avenir, l'exploitation totale du groupe H. F. d'Allouis-Issoudun s'effectuera à partir du dispatching d'Issoudun.

En effet, l'exploitation rationnelle du groupe nécessitera un poste de commande unique afin de prendre rapidement toutes décisions pour la répartition des courants modulateurs vers les diverses chaînes d'émission, compte tenu des fréquences des directions à desservir et de la maintenance du matériel.

L'équipement du dispatching comprend :

Les baies des amplificateurs d'arrivée et de départ des courants modulateurs et tous les appareils de mesures B. F. utiles.

Un pupitre central de surveillance permanente des émissions en cours (contrôle oscillographique). (fig. 17)

Un panneau à commande à distance, donnant à tous instants, l'état des liaisons chaîne H.F., chaîne B. F., aérien, de chaque bâtiment usine, et la supervision de leur fonctionnement : tensions de chauffage, moyennes tensions et haute tension.

Un tableau de contrôle et de commande à distance du poste de transformation 90 000/5 500 V.

Trois chambres d'écoute spéciale permettant d'assurer un contrôle auditif des émissions en cours.

Des câbles coaxiaux spéciaux relient les bâtiments usines au dispatching, ils permettent le contrôle des courants de haute fréquence distribués aux antennes.

Un poste de transformation alimente le dispatching en énergie électrique B. T. et un groupe électrogène de secours assure la continuité des principaux services dans le cas de panne de secteur.

Le standard téléphonique du centre et tous les bureaux des services administratifs, ainsi qu'un atelier et un laboratoire de mesures, se trouvent dans ce bâtiment.

C. - Poste de transformation 90 000/5 500 V.

Le poste d'alimentation en énergie électrique transforme le courant triphasé 90 000 V en 5 500 V.

Il est placé à 1 km du dispatching afin de dégager totalement le champ des antennes du centre ; l'énergie 5 500 V est distribuée aux divers bâtiments par câbles souterrains.

Deux lignes aériennes à 90 000 V amènent l'énergie depuis le poste de Villement situé à 4 km sur les lignes de la S. N. C. F.

Deux transformateurs de 10 000 kVA de 90 000 5 500 V. et leurs disjoncteurs à huile sont placés dans une enceinte extérieure.

L'énergie triphasée sous 5 500 V arrive par câble dans un bâtiment spécial de départ où se trouvent les cellules de comptage et de distribution.

Un tableau de contrôle et l'appareillage de commande à distance depuis le dispatching permet de réaliser toutes les commutations nécessaires : arrivée lignes 90 000 V, disjoncteurs 90 000 V et disjoncteurs de départ 5 500 V.

Toutes les manœuvres du poste se font à distance, évitant ainsi la présence de personnel qualifié au poste d'arrivée de l'énergie.

D. — Généralités sur le groupe H. F. Allouis-Issoudun.

1° *Antennes.*

Les antennes utilisées à Allouis et à Issoudun sont : soit des doublets demi-onde placés horizontalement

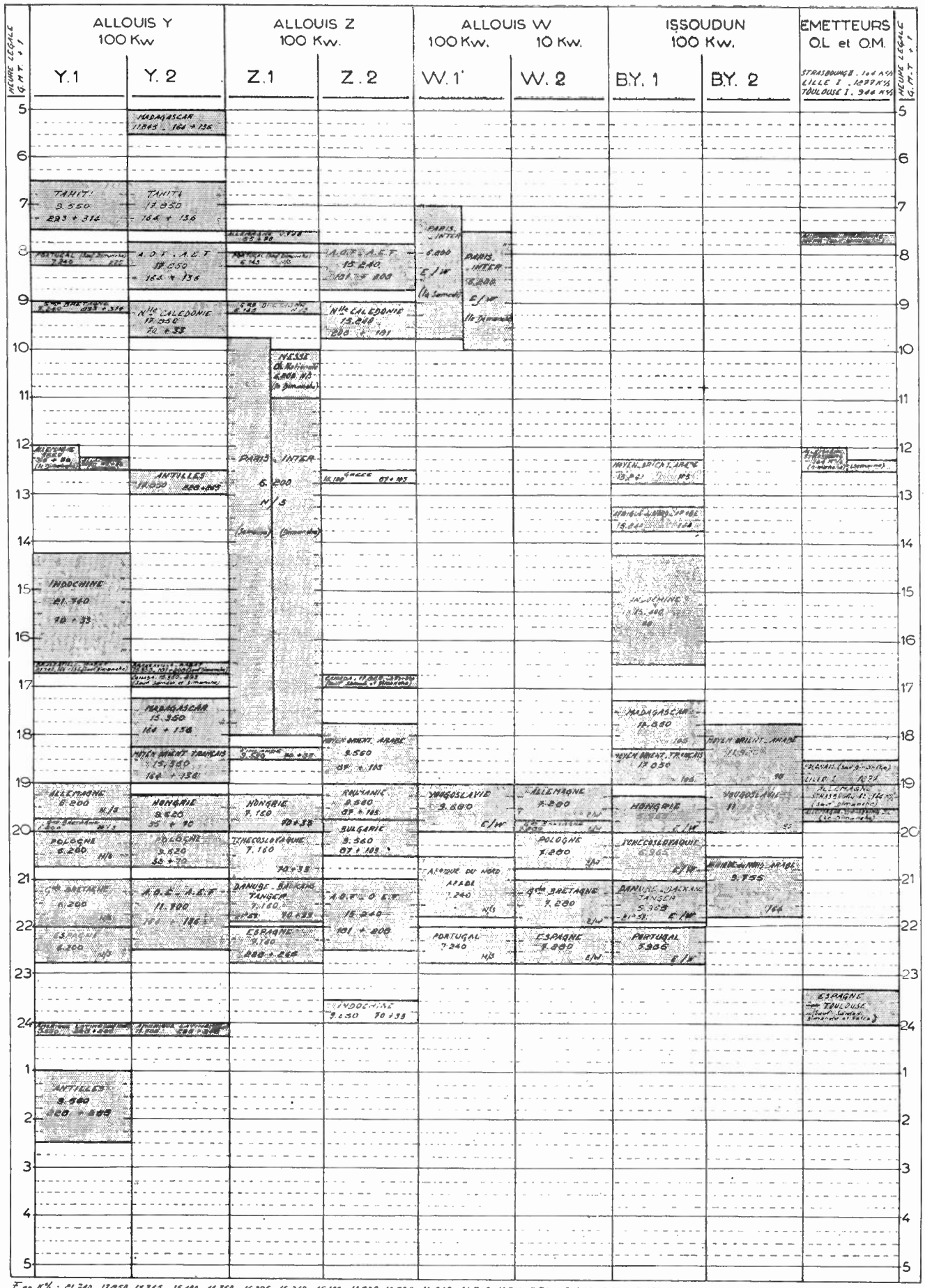
ALLOUIS Y
100 Kw
Y.1
Y. 2
ALLOUIS Z
100 Kw.
Z.1
Z. 2
ALLOUIS W
100 Kw.
10 Kw.
W.1'
W. 2
ISSOUDUN
100 Kw.
B.Y. 1
B.Y. 2
EMETTEURS
O.L et O.M.
HEURE LEGALE G.M.T. + 1
MADAGASCAR
TAHITI
A.O.T. - A.E.T.
N.lle CALEDONIE
ANTILLES
INDOCHINE
MADAGASCAR
MOYEN ORIENT FRANÇAIS
ALLEMAGNE
HONGRIE
POLOGNE
Cie BRETAGNE
ESPAGNE
PARIS INTER
NESSE
MOYEN ORIENT ARABE
RMUMANIE
BULGARIE
TCHECOSLOVAQUIE
DANUBE - BALKANS - TANGER
A.O.T. - C.E.T.
INDOCHINE
YOUGOSLAVIE
AFRIQUE DU NORD ARABE
PORTUGAL
ESPAGNE
MOYEN ORIENT ARABE
YOUGOSLAVIE
HONGRIE
TCHECOSLOVAQUIE
DANUBE - BALKANS - TANGER
PORTUGAL
STRASBOURG 1.164 KHz
LILLE 1. 1.277 KHz
TOULOUSE 1. 944 KHz
ESPAGNE
TOULOUSE
F en KHz : 21 740 . 17 850 . 17 765 . 15 480 . 15 350 . 15 295 . 15 240 . 15 180 . 11 820 . 11 805 . 11 345 . 11 720 . 11 740 . 9 735 . 9 600 . 9 620 . 9 560 . 9 550 . 7 290 . 7 240 . 7 160 . 6 200 . 6 145 . 6 090 . 5 965
λ en m : 13,79 . 16,81 . 16,88 . 19,48 . 19,54 . 19,61 19,48 . 19,86 . 25,11 . 25,24 25,32 . 25,58 . 25,64 . 34,75 . 30,93 . 31,19 . 31,38 . 31,41 . 41,21 . 41,44 . 41,39 . 41,39 . 40,02 . 49,66 . 50,29 .

FIG. 18. – Plan des émissions O. C. assurées avec le Groupe H. F. ALLOUIS-ISSOUDUN au 15 avril 1951.

au-dessus du sol, soit des antennes losanges à résistance d'absorption terminale.

Bien connues des radioélectriciens, ces antennes ont donné cependant des difficultés pour leur réalisation, par suite des puissances élevées mises en jeu et des tensions développées lors des crêtes de modulation.

Au cours des essais, les émetteurs ont délivré des puissances porteuses de 150 kW sur 6 Mc/s, et 120 kW sur 21 Mc/s, soit des puissances instantanées de 600 et 480 kW à 100 % de modulation.

Aux fréquences utilisées et notamment à 21 Mc/s (13 m) les phénomènes d'effluves et de décharges disruptives ont nécessité l'emploi d'un diamètre de fil important. Pour la construction des doublets et de leur ligne d'adaptation il a fallu réaliser des cages à plusieurs fils afin d'augmenter le diamètre apparent des conducteurs et corrélativement la tension critique de décharge disruptive.

Les antennes du centre d'Issoudun ont été réalisées sur supports métalliques en treillis léger d'acier galvanisé.

La grande résistance de ces supports a permis des tensions mécaniques de fils d'antennes élevées, ce qui diminue la flèche des fils et supprime les supports intermédiaires. Le fil copperveld, qui est un conducteur de cuivre à âme d'acier, a été utilisé pour permettre les fortes tensions mécaniques de pose.

L'entretien des antennes sur supports métalliques est pratiquement nul, alors que les supports bois entraînent de nombreuses révisions et réfections.

2° *Matériel radioélectrique.*

Les trois ensembles émetteurs qui équipent actuellement le groupe H. F. Allouis-Issoudun permettront de faire d'utiles rapprochements sur les avantages et les inconvénients des diverses solutions adoptées.

L'expérience d'une exploitation intensive du matériel donnera des indications précises :

— sur le comportement des tubes scellés et des tubes à vide entretenu, à grande puissance ;

— sur la durée des tubes de puissance des émetteurs chauffés en courant alternatif ou en courant continu ;

— sur le comportement des machines tournantes et des redresseurs secs pour le chauffage des filaments des gros tubes ;

— sur l'utilisation des divers procédés de contre-réaction et à divers taux ;

— sur l'emploi des feeders blindés et des feeders exponentiels à fort taux de variation ;

— sur les avantages et inconvénients des redresseurs à cathodes froides ou à cathodes chaudes en haute tension pour les grandes puissances ;

— sur les facilités d'exploitation et la tenue du matériel présenté par les différents constructeurs ;

— sur l'utilisation des réfrigérants à ruissellement à encombrement réduit ;

— sur le choix d'un même type de tubes pour l'équipement des étages de puissance H. F. et B. F. quant à leur durée et leur prix de revient horaire ;

— sur l'utilité d'un dispatching appliqué dans le domaine des émissions à ondes courtes destiné à faciliter l'exploitation du centre et diminuer le personnel nécessaire à l'entretien d'installations relativement complexes.

Conclusion.

Le groupe H. F. d'Allouis-Issoudun, réalisé par la Radiodiffusion Française, représente un équipement moderne, le plus puissant d'Europe, et l'une des plus belles réalisations techniques de l'industrie radioélectrique française.

Le choix judicieux des fréquences des directions et des heures de fonctionnement assure aux émissions à ondes courtes de ce groupe une portée mondiale qui permet d'atteindre à volonté tous les pays. (Voir plan des émissions O. C. au 15-4-51 — Fig. 18).

Afin d'obtenir le maximum d'efficacité pour les liaisons importantes, un même programme pourra être diffusé simultanément sur plusieurs fréquences.

Ainsi, l'équipement du territoire de la métropole se poursuit afin de donner de larges possibilités à la diffusion permanente des programmes français sur l'ensemble de la planète et dans les meilleures conditions d'exploitation.

STABILISATION DE SERVOMÉCANISMES A COURANT CONTINU

PAR

M. CAMBORNAC (1) et F. LAJEUNESSE

Ingénieurs de Recherche à l'O. N. E. R. A.

Dans cet article, les auteurs décrivent les procédés de stabilisation des servomécanismes à courant continu qu'ils ont été amenés à mettre en pratique ainsi que certains résultats obtenus dans le cas de faibles puissances.

Ils tentent de montrer que, dans tous les cas, cette stabilisation revient à éviter ou à compenser les retards de phase qui se produisent nécessairement dans toute chaîne physique.

1. — CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

1,1. Constitution d'un servomécanisme à courant continu.

Lorsqu'on veut établir entre deux variables V_e V_s de nature différente ou non une relation biunivoque $V_s = F(V_e)$ comportant une précision élevée et une réponse rapide, on est amené à réaliser un servomécanisme.

Un servomécanisme se caractérise essentiellement par l'existence d'une chaîne de retour qui permet de comparer la valeur instantanée de la variable V_s à celle qu'elle devrait avoir si la relation $V_s = F(V_e)$ était satisfaite et de tirer de cette comparaison les éléments nécessaires pour faire varier V_s dans le sens convenable.

Dans l'exposé qui va suivre, nous considérerons seulement le cas où la variable de sortie est le déplacement d'un organe mécanique ou le résultat de ce déplacement. Nous supposerons également ne disposer comme moteur que d'un moteur à courant continu. Un cas particulier qui se présente fréquemment est celui d'un asservissement position tension où l'on veut que l'organe commandé ait un déplacement proportionnel à la tension de commande E_e.

Un servomécanisme répondant à cette condition sera constitué par les éléments suivants (Sch. 1) :

— un amplificateur à courant continu A ;

— un moteur M dont l'arbre de sortie fournit la variable $\theta = V_s$, et entraîne un potentiomètre linéaire dont le curseur est porté à la tension $E_s = k_1 \theta = k_1 . V_s$.

(1) Actuellement ingénieur à la S. M. E.

Si S est la pente de l'amplificateur, K le rapport couple courant du moteur, Γ le couple maximum fourni par l'arbre de sortie, on a en régime statique la relation :

$$E_s \quad E_e \leqslant \frac{\Gamma}{S\,K}$$

donc la relation $k_1\ \theta \quad E_e$ sera vérifiée à mieux que $\dfrac{\Gamma}{S\,K}$ près

On voit que, pour obtenir une amélioration de la précision statique, il suffit (Γ étant pratiquement imposé) d'augmenter le produit SK.

D'autre part, un tel servomécanisme, à condition qu'il soit stable, peut être considéré comme obéissant, si la tension E_e est maintenue constante et Γ nul, à l'équation différentielle :

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + F \frac{d\theta}{dt} + K S k_1 \theta \quad 0$$

I étant le moment d'inertie de la partie mécanique et F un coefficient représentant l'effet du frottement

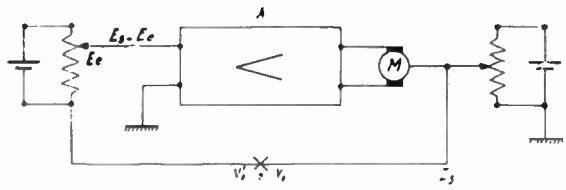

FIG. 1.

visqueux et de la f. c. e. m. du moteur. (Cette équation n'est valable que dans une zone étroite autour de l'équilibre).

Sa fréquence propre sera donc :

$$\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{KS\,k_1}{I}}$$

et augmentera avec SK, ainsi que sa bande passante Or, on sait que la bande passante et le temps de réponse à un ordre à flanc raide sont liés par la relation approchée :

$$\Delta^{c/s} \times \tau^s = 1/2.$$

En pratique, lorsqu'on cherche à augmenter le produit SK, on constate qu'apparaissent le sous-amortissement et l'instabilité. Ceci est dû essentiellement, en dehors du terme inertie qui apparaît dans l'équation :

1°) à la self du moteur,

2°) aux déphasages parasites dans des organes considérés jusqu'ici comme ne déphasant pas (amplificateurs),

3°) aux retards introduits par les jeux et les frottements solides de la chaîne.

Deux problèmes se posent donc :

a) prévoir à priori si un servomécanisme va être stable ou non (particulièrement intéressant dans le cas d'un appareillage de puissance élevée à qui on ne peut permettre de « pomper » impunément),

b) déterminer les méthodes pouvant rendre stable un servomécanisme instable ou sous-amorti.

L'application du Critérium de Nyquist fournit des solutions parfaitement utilisables.

1,2. — Critérium de Nyquist.

Nyquist considère la boucle ouverte en un point quelconque, soit 0 (Sch. 1) et le rapport $\rho = \frac{V_0}{V'_0}$ des deux quantités de même nature qui apparaissent à la coupure (ce rapport ρ a toujours une signification puisque la boucle est ouverte, donc le système stable).

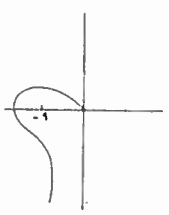

Fig. 2.

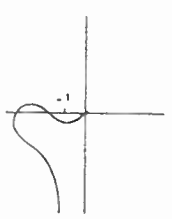

Fig. 3.

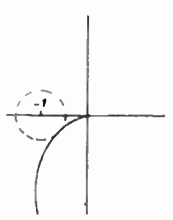

Fig. 4.

Lorsqu'on introduit $V'_0 = Ae^{j\omega t}$ dans la nouvelle chaîne ainsi constituée, il est évident que V_0 est de la forme $Be^{j(\omega t+\varphi)}$ (puisqu'on suppose tous les éléments linéaires).

Le tracé dans le plan complexe du lieu de l'extrémité du vecteur $\rho\left(\frac{B}{A}, \varphi\right)$ permet de déterminer les caractéristiques du servomécanisme bouclé.

1°) Si la courbe $\rho(\omega)$ entoure le point — 1 le servomécanisme est instable (Sch. 2).

2°) Si la courbe $\rho(\omega)$ couple l'axe des X à gauche de — 1 sans entourer ce point, le servomécanisme est stable (Sch. 3) ; mais une diminution accidentelle du produit KS qui intervient directement dans ρ, risque de faire entourer le point — 1 par la courbe.

3°) Le degré d'amortissement dans le cas de stabilité peut être déduit de la position de la courbe par rapport à une famille de cercles ; chaque cercle correspondant à une valeur donnée de E_s/E_e coupant la courbe au point de paramètre ω correspondant (Sch. 5 et 6).

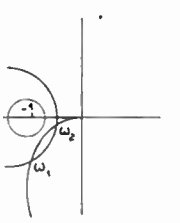

Fig. 5.

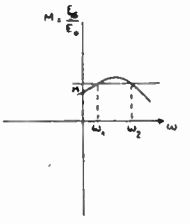

Fig. 6.

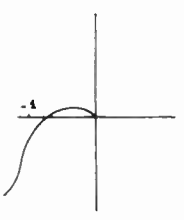

Fig. 7.

1,3. — Allure théorique et pratique de la courbe de Nyquist.

Considérons la chaîne du schéma 1 ouverte en 0 et introduisons à l'entrée :

$$V'_0 = Ae^{j\omega t}$$

avec les définitions précédentes, et en adoptant la notation symbolique $p = j\omega$ on a les équations :

$$p^2 I\,\theta + F\,p\,\theta = KSV'_0$$

$$V_0 = k_1\,\theta$$

$$\frac{V_0}{V'_0} = \rho = \frac{k_1 KS}{p^2 I + pF}$$

En négligeant les phénomènes non linéaires et en supposant S réel, nous obtenons une courbe qui a l'allure de la courbe fig. 1, c'est-à-dire démarrant de l'axe des j et arrivant au point 0 tangentiellement à l'axe des — 1 (influence du terme $p^2 I$).

En fait, l'influence des jeux, des frottements secs et de la bande passante limitée de l'amplificateur gré de F étant supérieur à celui de G, on obtient (S étant une fraction rationnelle en p) amène à une courbe du type 7 qui pourra, lorsqu'on augmentera le gain de boucle (pour accroître les performances), donner une courbe du type 2 caractérisant un servomécanisme instable.

On voit donc que, sans précautions spéciales, un servomécanisme, même du type le plus simple, deviendra automatiquement instable dès qu'on voudra augmenter ses performances et que le passage du régime stable au régime instable se caractérise par le fait que la valeur de ω, pour laquelle $\rho = 1$, correspond à une valeur de $\varphi \geqslant 180°$.

En pratique, pour que l'amortissement soit suffisant, il convient de s'arranger pour que la valeur de ω pour laquelle $\rho = 1$ (correspondant à une fréquence égale à la fréquence de coupure) donne une marge de phase de 45° environ, soit :

$$\varphi_{\omega c} \cong 135^\circ$$

Conditions à remplir par le matériel pour avoir à priori, des caractéristiques aussi bonnes que possible :

Nous venons de voir que les caractéristiques du servomécanisme dépendent essentiellement de l'allure des variations simultanées de ρ et φ en fonction de ω.

Or, il est toujours possible, du moins théoriquement, de faire varier ρ en jouant sur k_1 et S. Il convient donc d'examiner tous les éléments qui peuvent augmenter le retard de phase à la fréquence de coupure.

Sont compris dans cette classe, les jeux et les transmissions qui demandent un temps déterminé, temps qui interviendra comme terme retard et qui ne pourra être rattrapé.

Egalement les circuits électriques dont le rapport de transmission ρ se présente sous la forme d'un quotient de polynomes en p dont le numérateur a une racine à partie réelle positive ; en effet, une méthode générale pour neutraliser l'effet d'un réseau apportant un retard, est de mettre en série dans la chaîne, un réseau de rapport de transmission inverse, mais dans le cas considéré le nouveau réseau est instable par nature, donc irréalisable physiquement.

Il convient de s'assurer que les termes tels que k_1 et S qui sont supposés réels, et sont en réalité de la forme $k_{10} \dfrac{G(p)}{F(p)}$ ou $S_0 \dfrac{G'(p)}{F'(p)}$, se rapprochent au maximum de la forme réelle, dans la zone de fréquence intéressante, c'est-à-dire pratiquement jusqu'à une fréquence égale à $3 f_c$.

Considérons l'équation :

$$\rho = k_1 S \frac{K}{p^2 I + pF}$$

On voit que la caractéristique de Nyquist aura d'autant moins tendance à se rapprocher du point — 1 que $\dfrac{K}{I}$ sera grand et $\dfrac{K}{F}$ petit. Or, si la diminution de $\dfrac{K}{F}$ présente certains inconvénients (erreur à vitesse de commande constante), l'augmentation de $\dfrac{K}{I}$ est toujours payante, donc on aura toujours intérêt à avoir un moteur dont le rapport couple/inertie soit maximum, c'est-à-dire à éliminer de la partie tournante le matériel qui n'est pas indispensable au fonctionnement normal du moteur, c'est-à-dire le fer. On est ainsi amené à réaliser des moteurs où seul le bobinage est mobile.

Un moteur à continu peut d'ailleurs être considéré comme un réseau RC ainsi que le montre le calcul suivant fait en négligeant la self de l'induit.

Soit I le moment d'inertie du rotor,

K le coefficient couple courant,

L le coefficient tension vitesse,

F le coefficient de frottement visqueux,

R la résistance d'induit.

Injectons dans le moteur, une tension sinusoïdale de fréquence $\dfrac{\omega}{2\pi}$. Les équations régissant le mouvement sont :

$$\begin{cases} V - L\,p\,\theta = R\,i \\ I\,p^2\,\theta + F\,p\,\theta = K\,i \end{cases} \qquad (j\,\omega = p)\ .$$

en éliminant θ il vient :

$$\frac{V}{i} = R + \frac{KL/F}{1 + p\,I/F}$$

le moteur est donc équivalent au réseau RC de la fig. 8 ou :

$$r_s = R \qquad r_p = \frac{KL}{F} \qquad C = \frac{I}{KL}$$

Notons que la tension aux bornes de C est :

$$L\,p\,\theta = \frac{KL/F}{1 + I_p/F}\,i$$

$p\,\theta$ est la vitesse de rotation du moteur.

Cette analogie n'est pas purement théorique, puisque l'on peut mesurer au pont les éléments r_s, r_p, C dont il est question, à condition d'opérer à fréquence assez basse et à niveau assez fort pour que le moteur tourne vraiment. A titre d'exemple, on a pu mesurer C pour les moteurs Prémavol (100 μF) et Birotax (40 μF) ; la valeur RC donne le temps nécessaire au moteur pour prendre $1 - \dfrac{1}{e}$ de sa vitesse maximum lorsqu'on le branche sur une source de tension de résistance interne nulle. On retrouve bien que la condition RC minimum équivaut à une valeur de $\dfrac{K}{I}$ maximum, et qu'on a, par ailleurs, intérêt à utiliser des moteurs tournant lentement (influence de L).

2. — CONDITIONS A SATISFAIRE POUR AMÉLIORER LA STABILITÉ ET MÉTHODES PRATIQUES UTILISABLES

Lorsqu'on a approché au maximum les conditions énoncées au paragraphe précédent et augmenté le gain de boucle pour satisfaire aux conditions de précision et de vitesse de réponse demandées, on se trouve en général devant un système instable ou

mal amorti. Il est alors nécessaire de tracer la caractéristique de Nyquist dans les cas un peu compliqués, et, en tout cas, de se procurer le gain de phase nécessaire à l'amortissement.

Si le tracé de la courbe ρ (ω) ne présente en général pas de difficultés, le tracé de la courbe φ (ω) est délicat surtout pour les basses fréquences, faute

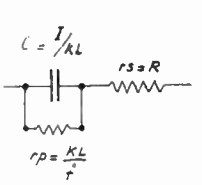

FIG. 8.

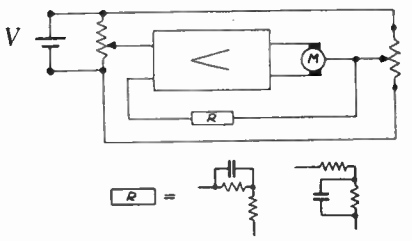

FIG. 9.

de matériel approprié. Nous citerons ici une méthode qui a été appliquée avec succès dans le cas d'un asservissement de position de petite puissance (fig. 9).

Elle est basée sur l'hypothèse suivante :

1°) La modification de la tension V ne modifie pas la caractéristique φ (ω).

2°) Le fait de maintenir le servomécanisme un peu au-dessus de la limite de pompage ne modifie pas non plus φ (ω) et le retard de phase à cette fréquence de pompage est 180°.

Dans ces conditions, on intercale dans la boucle une série de réseaux différentiateurs ou intégrateurs R_n dont on connaît le déphasage φ_n (f).

Pour chacun de ces réseaux R_n on mesure la fréquence f_n de pompage du servomécanisme.

On en déduit que, pour la fréquence f_n, le retard de phase de la boucle seule est :

$$\varphi_{fn} = 180° - \varphi_n (f_n)$$

d'où le tracé par point de la caractéristique φ.

Cette méthode a donné de bons résultats pratiques, ce qui prouve la validité des hypothèses faites, et la dispersion des points est satisfaisante.

Nous allons passer en revue tous les procédés d'amortissement expérimentés dans notre équipe en cherchant à montrer que, si les procédés récents découlent directement de la notion de gain de phase, les procédés plus classiques ont, au fond, des caractéristiques tout à fait analogues. Pour cela, nous définirons la caractéristique d'insertion du procédé utilisé : soient ρ (ω), ρ_1 (ω) les rapports de boucle ouverte du servomécanisme avant et après mise en œuvre du procédé. La caractéristique d'insertion sera ρ_1/ρ, c'est en somme le rapport de transformation du réseau fictif, qui, intercalé en série dans la boucle, donnerait le même résultat.

2,1. — **Réduction des déphasages dans l'ensemble amplificateur-moteur.**

2,11 — *Etude de principe* :

Avant d'étudier les dispositifs correcteurs susceptibles de faire regagner les retards de phase excessifs dûs à l'ensemble amplificateur-moteur, nous allons montrer comment on peut réduire, à priori, ces retards par une réalisation convenable de l'adaptation de la sortie de l'amplificateur au moteur.

Soit un moteur de moment d'inertie I

de rapport couple/courant K

de rapport tension/vitesse L

de coefficient de frottement visqueux F

de résistance R_M.

Branchons-le à la sortie d'un amplificateur de gain en tension A et de résistance interne R_A, (fig. 10). A sera un nombre réel car, dans les bandes

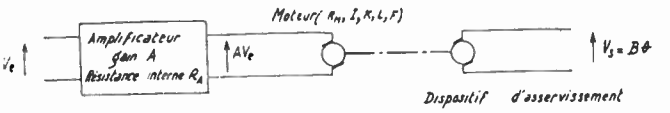

FIG. 10.

passantes nécessaires aux servomécanismes, il est facile de faire un amplificateur à liaison directe ne déphasant pas avant l'étage de sortie.

Reprenons les équations A de la page 436 :

$$AV_e - Lp\theta - (R_A + R_M)\, i = 0$$

$$Ip^2\theta + Fp\theta - Ki = 0$$

En éliminant θ nous verrions comme précédemment que la charge sur laquelle débite l'amplificateur est équivalente à un condensateur de capacité $C = \dfrac{I}{KL}$ en série avec la résistance $R = R_A + R_M$ et shunté par une résistance de valeur $\dfrac{KL}{F}$.

En éliminant i nous trouvons le déplacement angulaire θ :

$$\theta = \frac{AV_e}{\left(L + \dfrac{RF}{K}\right) p + \left(\dfrac{RI}{K}\right) p^2}$$

Soit $k_1\,\theta$ la tension V_s fournie par le dispositif d'asservissement entraîné par le moteur ; le rapport de transmission de la boucle ouverte est :

$$\rho = \frac{V_s}{V_e} = \frac{k_1\theta}{V_e} = \frac{Ak_1}{\left(L + \dfrac{RF}{K}\right) p + \dfrac{RI}{K} p^2}$$

Regardons le diagramme de Nyquist correspondant obtenu en remplaçant p par $j\,\omega$ et en faisant varier ω de 0 à $+\infty$ (fig. 11) :

$$\rho = \frac{Ak_1}{\dfrac{RI}{K}\omega^2 + j\left(L + \dfrac{RF}{K}\right)\omega}$$

L'argument de ρ est compris entre 90° et 180°. Soit $\left(-\frac{\pi}{2} \quad \varphi\right)$ cet argument :

$$tg\varphi = \frac{I\omega}{\frac{KL}{R} + F}$$

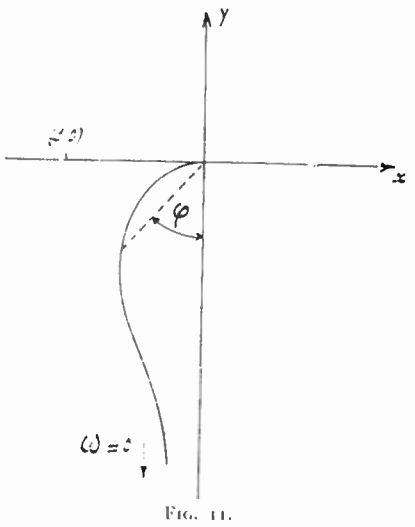

FIG. 11.

Il est surtout intéressant de connaître $|\rho|$ et ω pour $\varphi = 45^\circ$, marge de phase habituelle. $|\rho|\ 45^\circ$ devra être $\leqslant 1$ et $\omega\ 45^\circ$ aussi grand que possible.

On a alors :

$$\omega_{45^\circ} = \frac{F + \frac{KL}{R}}{I}$$

$$B \quad |\rho|_{45^\circ} = \frac{\Delta k_1 \frac{RI}{K}}{\left[L^2 + \left(\frac{RF}{K}\right)^2\right]\sqrt{2}}$$

Pour juger des performances du servomécanisme il faut aussi connaître sa précision statique que l'on peut définir par sa raideur $\frac{\Delta \Gamma}{\Delta \theta}$, $\Delta \Gamma$ étant le couple statique fourni par le moteur quand on l'écarte d'un angle $\Delta \theta$ de sa position d'équilibre. Un calcul simple montre que l'on a :

$$\frac{\Delta \Gamma}{\Delta \theta} = \frac{K \Delta k_1}{R}$$

Supposons maintenant que les éléments du moteur nous soient donnés et que nous cherchions les caractéristiques à donner à l'amplificateur pour augmenter la précision et la vitesse de réponse tout en conservant une marge d'amortissement suffisante :

Nous avons la possibilité de choisir dans certaines limites les valeurs de R et de F ; en effet, nous pouvons faire varier R_A résistance interne de l'ampli et par suite $R = R_A + R_M$. De même F, coefficient de frottement visqueux du moteur, naturellement très faible dans un moteur sans fer tournant, peut être augmenté artificiellement au moyen d'un système genre dash-pot.

Voyons ce que l'on obtient en réduisant la valeur de R.

L'examen des expressions B montre que lorsque R décroît, $\omega\ 45^\circ$ croît et $|\rho|\ 45^\circ$ décroît. Théoriquement Δk_1 étant donné, on devrait toujours pouvoir, en réduisant R, rendre $|\rho|\ 45^\circ$ plus petit que 1, tandis que la fréquence de coupure correspondante croît trait. Remarquons que, lorsque R diminue, la précision statique croît aussi. Il apparaît donc extrêmement intéressant de réduire R au maximum.

En faisant croître artificiellement F on augmente également $\omega\ 45^\circ$ tout en réduisant $|\rho|\ 45^\circ$. Toutefois, la précision statique reste la même, on a une dissipation d'énergie dans le dash-pot en régime dynamique et de plus l'adjonction d'un dash-pot peut augmenter le moment d'inertie I de façon à faire perdre une partie importante des avantages acquis.

D'une façon générale, on n'a donc pas intérêt à augmenter le terme de frottement visqueux, mais il est bon de réduire au maximum la valeur de R.

Pour cela un dispositif de contre-réaction de tension permet de ramener la résistance interne de l'ampli R_A à une valeur faible devant celle du moteur. On peut même, avec avantage dans certains cas, faire une réaction de courant qui rende la résistance interne de l'ampli négative, compensant ainsi une partie de la résistance du moteur. De cette façon, l'amplificateur rattrape une partie des retards dûs à l'inertie du moteur.

Il faut, dans ce dernier cas, prendre soin de stabiliser (par contre-réaction) le gain du ou des étages sur lesquels on fait la réaction de courant afin que le taux de cette réaction reste constant et que la résistance totale à la sortie de l'ampli reste toujours positive. Il ne semble pas prudent de chercher à compenser plus des quatre cinquièmes de la résistance du moteur.

2.12. *Valeur pratique des considérations ci-dessus* :

Il semblerait, d'après l'exposé précédent, qu'un servomécanisme à courant continu avec moteur à aimant permanent et sans fer tournant, risquerait tout au plus, d'être mal amorti, mais pas d'osciller. En fait, lorsqu'on pousse suffisamment le gain, des phénomènes secondaires (self de fuite du moteur, jeux, frottements secs, etc...) prennent assez d'importance pour que l'équation linéaire du second ordre (page 3) ne représente plus exactement le fonctionnement du système. Tous ces phénomènes correspondent à des retards de phase supplémentaires qui font que la courbe de Nyquist arrive à entourer le point (1,0) et pour éviter les oscillations, on doit alors introduire dans la boucle des réseaux correcteurs de phase tels que ceux que nous allons décrire plus loin.

2,13. *Exemple d'étage de sortie à faible résistance interne :*

Nous avons utilisé avec succès le montage suivant (fig. 12). Les deux moitiés d'un moteur type push-pull sont branchées chacune comme charge cathodique d'un cathode follower symétrique.

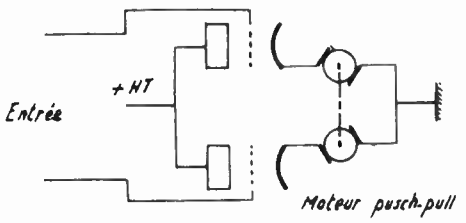

FIG. 12.

On sait qu'une lampe de pente S, montée en cathode follower, est vue de sa cathode comme un générateur de force électromotrice égale à la tension grille, à une constante près, et de résistance interne $1/S$. Dans un montage symétrique, les deux constantes s'éliminent. Chaque moitié du moteur se trouve ainsi alimentée par une source de résistance interne $1/S$, qui est en général faible devant la résistance d'une moitié du moteur.

2,2. — Procédés utilisant l'adjonction de réseaux RC à un amplificateur et un moteur pré-existant.

Il s'agit d'obtenir un gain de phase au voisinage de la fréquence de coupure. Or, la loi de Bode reliant les caractésistiques $\rho^{(\omega)}$, $\varphi^{(\omega)}$ d'un réseau à déphasage minimum permet de prévoir que ce gain

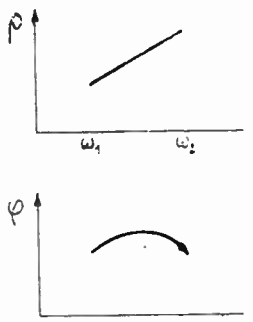

FIG. 13.

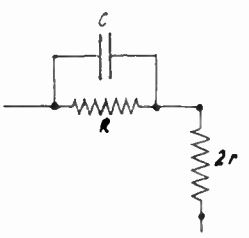

FIG. 14.

de phase est inséparable d'une courbe $\rho^{(\omega)}$ croissant avec la fréquence ; donc, tout réseau ou combinaison de réseau et d'éléments existants qui permettront d'obtenir une courbe $\rho^{(\omega)}$ ayant l'allure de la fig. 13, donnera un gain de phase dans la zone $\omega_1 - \omega_2$.

2,21. — *Réseau dérivateur* (fig. 14, 15, 16).

Le rapport de transmission d'un tel circuit est θ :

$$\frac{E_s}{E_e} = \frac{2r\,(RCp + 1)}{2r\,(RCp + 1) + R}$$

posons :

$$\frac{R}{2r} = \alpha \qquad RC\,\omega_0 = 1 \qquad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\rho = \left|\frac{E_s}{E_e}\right| = \sqrt{\frac{1 + \Omega^2}{(1+\alpha)^2 + \Omega^2}}$$

$$\varphi = \operatorname{Arc\,tg} \frac{\alpha\,\Omega}{1 + \alpha + \Omega^2}$$

On trouve que φ présente un maximum $= \operatorname{Arc\,tg} \dfrac{\alpha}{2\sqrt{1+\alpha}}$ pour $\Omega = \sqrt{1+\alpha}$:

$$\text{pour } \omega = 0 \qquad \rho = \frac{1}{1+\alpha} = \alpha_d$$

Le réseau des courbes $\rho\ (\omega)$ $\varphi\ (\omega)$ (fig. 19, 20) montre que :

1° φ max $< 90°$.

2° φ max croît avec α mais pas linéairement, de sorte qu'à partir d'un certain moment, l'augmentation de α (qui se traduit par une perte de gain à

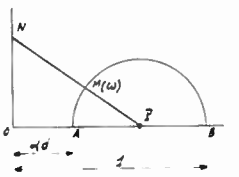

FIG. 15.

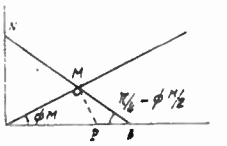

FIG. 16.

$\omega = 0$ donc une diminution de la précision statique) n'est plus payante. Il n'est pas intéressant d'obtenir avec un seul circuit dérivateur des gains de phase supérieurs à 50°.

On trouverait simplement que la caractéristique d'insertion de ce procédé, qui est d'ailleurs le rapport de transformation du réseau lui-même est un demi-cercle caractérisé par $OA = \alpha_d$ et $OB = 1$. La graduation en ω étant définie par $ON = \tau_d\,\omega$ avec $\tau_d = \dfrac{2r\,RC}{2r + R}$.

On en déduit une construction simple qui permet de déterminer α_d et τ_d donnant un gain de phase φ_M à la pulsation ω_1.

On construit φ_M de 0 puis de B ($OB = 1$) l'angle $\dfrac{\pi}{4} - \dfrac{\varphi_M}{2}$, ce qui donne $ON = \tau_d\,\omega_1$, donc τ_d et M. D'où le centre P du cercle caractéristique, donc OB tel que $BP = PA$ et α_d.

Ce type de réseau est avantageux par son petit nombre d'éléments, mais conduit souvent à travailler à haute impédance et sacrifie la précision statique ; pour l'employer utilement, il faut donc partir d'une amplification plus élevée que celle strictement nécessaire.

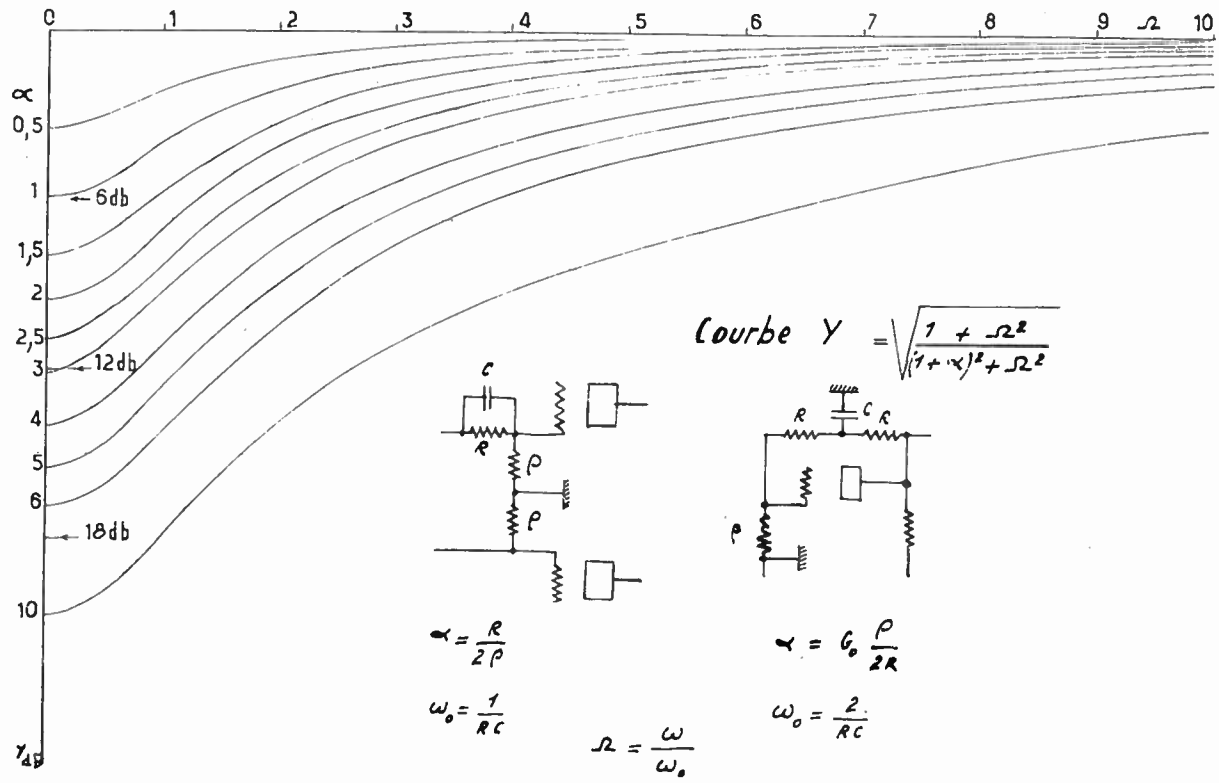
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Ω 10
α
0,5
1
1,5
2
2,5
3
4
5
6
10
6db
12db
18db
γdb
Courbe Y = √(1 + Ω²) / √((1 + α)² + Ω²)
C
R
ρ
ρ
α = R/2ρ
ω₀ = 1/RC
R
C
R
ρ
α = G₀ ρ/2R
ω₀ = 2/RC
Ω = ω/ω₀

FIG. 19.

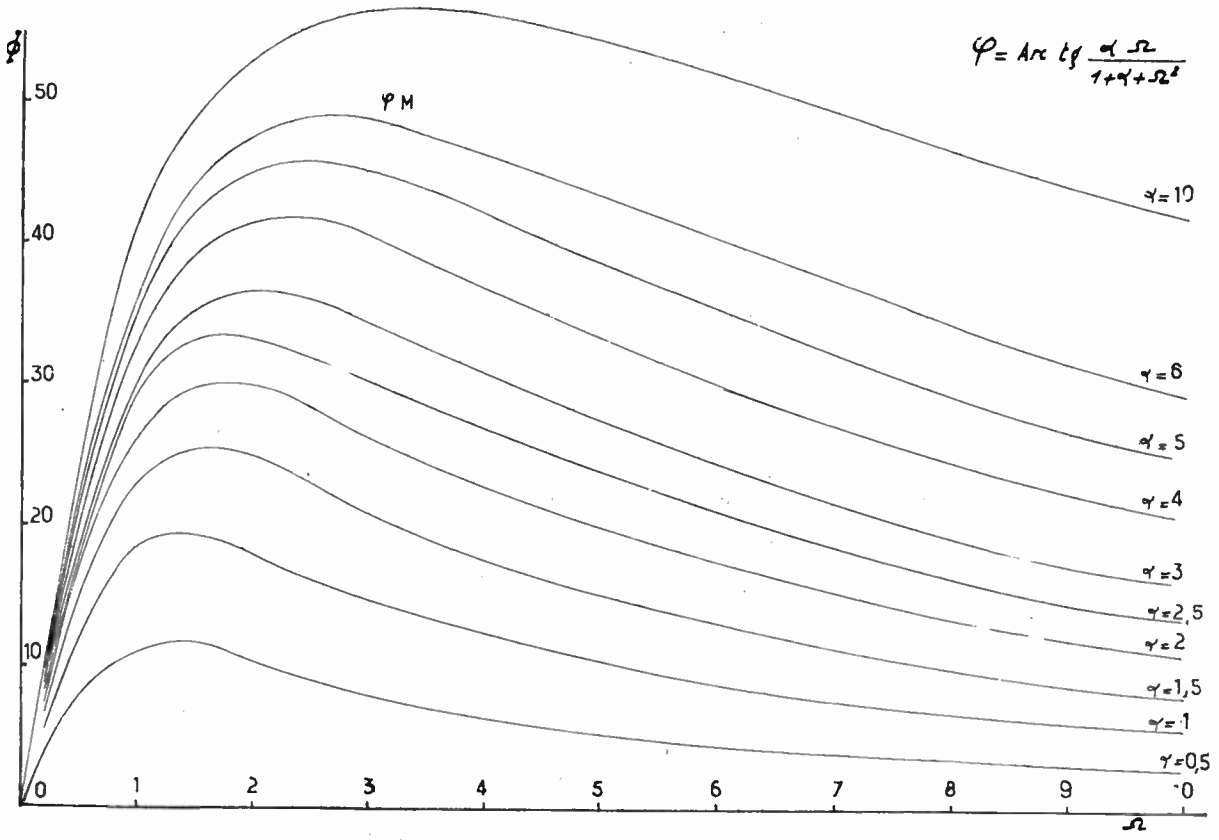
φ
50
40
30
20
10
φ M
φ = Arc tg αΩ / (1 + α + Ω²)
α = 10
α = 6
α = 5
α = 4
α = 3
α = 2,5
α = 2
α = 1,5
α = 1
α = 0,5
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Ω

FIG. 20.

La mise au point expérimentale en est simple : il suffit de se donner, à priori, un rapport $\frac{R}{r}$ et de faire varier C quitte à augmenter ce rapport si l'amortissement obtenu est insuffisant.

2,22. — *Réaction positive sélective* (fig. 17) :

Une réaction positive sélective pratiquée sur un amplificateur continu symétrique peut donner un gain de phase allant théoriquement jusqu'à 90°. En fait, on est très rapidement limité par l'entrée en oscillation de l'amplificateur lui-même et cet inconvénient empêche pratiquement d'utiliser ce procédé qui présentait, par ailleurs, l'avantage de ne rien sacrifier de la précision statique.

2,23. — *Contre-réaction sélective* (fig. 18) :

En négligeant la capacité C_p parasite ou voulue de la charge plaque R_p, capacité qui est faible et ne risque pas, vu le type de circuit, d'amener des oscil-

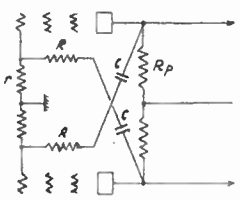

Fig. 17.

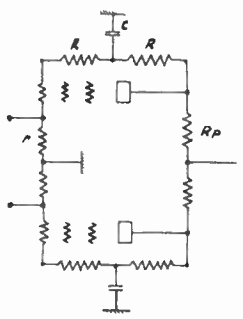

Fig. 18.

lations parasites, et en appelant S la pente de la lampe constituant une des moitiés d'un étage amplificateur à courant continu symétrique, on trouve que le gain de cet étage est :

$$G = SR_p \frac{2 + RC_p}{2 + RC_p + SR_p \frac{r}{R}}$$

En posant :

$$\alpha = \frac{r}{2R} \cdot SR_p = \frac{r}{2R} G_0$$

$$\omega_0 = \frac{2}{CR} \qquad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$$

On trouve :

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1 + j\,\Omega}{1 + \alpha + j\,\Omega}$$

Soit la même équation que les circuits dérivateurs ; on en déduit que ces circuits sont strictement équivalents, en particulier ils amènent une perte de précision statique, mais le circuit à contre-réaction, quoique plus complexe, présente l'intérêt de contribuer à améliorer la stabilité de l'amplificateur.

2,24. — *Circuits différentio-intégrateurs, T ponté, T ponté inverse* (Fig. 21, 22, 23).

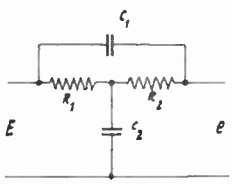

Fig. 21 *a*.

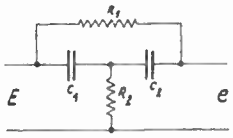

Fig. 21 *b*.

Ces trois types de circuits sont équivalents : en effet, leur rapport de transmission peut se mettre sous la même forme réduite moyennant des notations convenables :

$$p = \frac{E_s}{E_e} = \frac{1}{\alpha + j\sqrt{\beta}\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right)}$$

Les notations sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

	Circuit différentio-intégrateur (fig. 23)	T ponté (fig. 21 a)	T ponté inverse (fig. 21 b)
$\alpha =$	$1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}$	$1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\frac{C_1}{C_2}$	$1 + \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right)\frac{R_1}{R_2}$
$\beta =$	$\frac{R_2\ C_1}{R_1\ C_2}$	$\frac{R_2\ C_1}{R_1\ C_2}$	$\frac{R_2 C_1}{R_1 C_2}$
$\Omega =$	$\omega\sqrt{R_1\ R_2\ C_1\ C_2}$	$\omega\sqrt{R_1\ R_2 C_1\ C_2}$	$\omega\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}$

Le diagramme représentant l'équation ci-dessus est un cercle (fig. 22). Les déphasages extrêmes correspondent aux fréquences réduites :

$$\Omega_{\varphi M} \quad \frac{1}{2}\left[\sqrt{(1 - \alpha)\frac{\alpha}{\beta}} + 1 + \sqrt{(1 \quad \alpha)\frac{\alpha}{\beta}}\right]$$

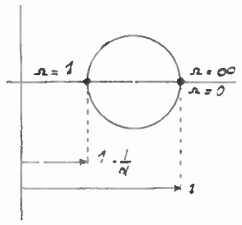

Fig. 22.

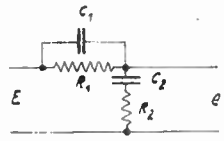

Fig. 23.

Les déphasages correspondant sont :

$$\varphi_M \quad + Arc\,tg\left(\frac{1}{2\alpha\sqrt{1-\alpha}}\right)$$

et le module de ρ correspondant :

$$\left|\rho_{\varphi M}\right| \quad \sqrt{1 \quad \frac{1}{\alpha}}$$

L'examen de l'équation de ρ montre que la forme du diagramme ne dépend que de α mais que β régit la graduation en ω de ce diagramme. β agit sur la « sélectivité » du circuit ; celle-ci est d'autant plus grande que β est grand. Une étude plus approfondie montrerait que β peut être au plus égal à $\frac{\alpha - 1}{2}$ dans le cas du circuit différentio-intégrateur et au plus égal à α 1 dans le cas du T ponté et du T ponté inverse. Ces deux derniers sont donc souvent plus intéressants.

On peut considérer l'action stabilisatrice de ce réseau de la façon suivante.

C'est un réseau qui, sans diminuer le gain à fréquence nulle (précision statique), permet d'atténuer autant qu'on le désire, sans la déphaser, une fréquence particulière (Ω = 1), fréquence que l'on choisira voisine de la fréquence naturelle d'oscillation du servomécanisme à stabiliser, Dans ces conditions, ce circuit fournit un retard de phase aux fréquences inférieures à l'oscillation naturelle et fournit ensuite une avance de phase favorable à la stabilité.

Ce type de circuit permet aisément d'accroître la précision statique d'un servomécanisme au détriment de sa vitesse de réponse.

2,3. Stabilisation par dynamo tachymétrique (fig. 24).

Ce procédé est un des plus classiques. Il consiste à accoupler au moteur ou à lui incorporer une dynamo dont la tension de sortie est de la forme $F\frac{d\theta}{dt}$ et à réintroduire une portion k_2 de ce signal dans la boucle.

L'équation régissant le mouvement du système supposé stable (négligeons le terme frottement visqueux) est :

$$I\,p^2\,\theta + KS\,(k_1\,\theta + k_2\,Fp\,\theta) = 0$$

On voit que cette disposition introduit un terme visqueux de coefficient $KS\,k_2\,F$ qui peut être très grand et que la relation d'amortissement sureritique :

$$(KS\,k_2\,F)^2 \gg 4\,KS\,k_1\,I$$

est d'autant mieux vérifiée, toutes choses égales d'ailleurs, que SK est plus grand ; c'est-à-dire que dans un tel servomécanisme, on ne risque pas de

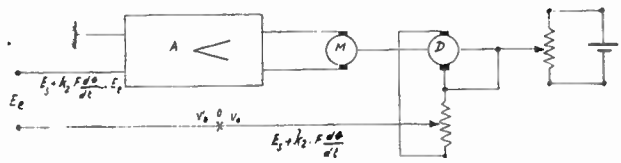

Fig. 24.

pompage en augmentant la pente de l'amplificateur. Ceci est évidemment limité aux grandes vitesses de réponse par l'apparition de nouveaux termes parasites en p qui rendent l'équation d'ordre supérieur à 2.

Voyons maintenant l'allure de la caractéristique d'insertion comme elle a été définie plus haut (fig. 25, 26).

Pour cela, ouvrons la boucle et supprimons la dynamo : nous obtenons le rapport de boucle ouverte ρ_1, l'effet de la dynamo est d'ajouter au vecteur ρ_1 un vecteur perpendiculaire de module $KS\,k_2\,F\omega$ ce qui donne le vecteur ρ_2 déphasé en arrière.

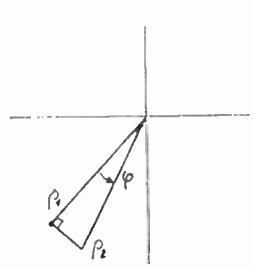

Fig. 25.

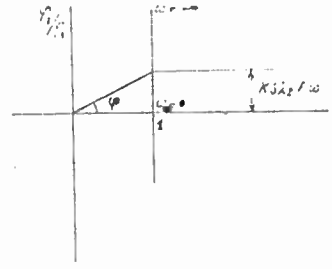

Fig. 1.

La caractéristique $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ est donc une demi-droite passant par le point 1 et graduée en ω.

Le gros avantage de ce procédé, en dehors de la remarque faite au début de ce paragraphe, est de gagner de la phase à toute fréquence sans rien perdre du gain en continu, avec un dosage particulièrement facile de l'amortissement.

Par contre, en ce qui concerne les ordres extérieurs, il peut être, dans certains cas, moins rapide que le procédé à contre-réaction sélective, qui, à

gain continu égal, passe mieux les composantes à hautes fréquences de l'ordre.

En outre, il exige une dynamo ou un moteur spécialement conçu. Le moteur Birotax comporte, à cet effet, une dynamo tachymétrique incorporée.

3. — QUELQUES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Au cours des deux dernières années une équipe comprenant MM. BENOIST, GRÉGOIRE, G. et Ph. VAN DEN BROEK et les auteurs, et conseillée par M. LEHMANN, a été amenée à mettre en œuvre les principes cités plus haut et a obtenu les résultats suivants :

3,1. — Les moteurs.

Pour les raisons exposées au paragraphe 1, les deux types de moteurs utilisés n'ont pas de fer mobile. Le bobinage, en forme de cloche, tourne seul, ce

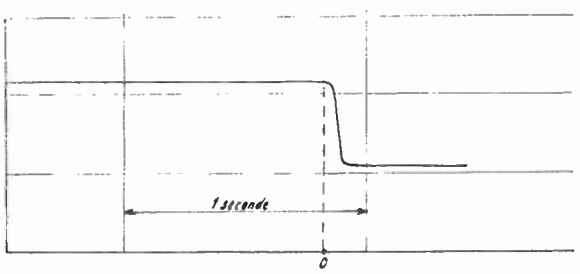

FIG. 27.

qui assure l'inertie minimum. L'aimant est soit intérieur (Birotax) soit extérieur (Prémavol).

Le moteur Birotax présente en outre certains avantages : montage sur roulement avec axe sorti ; existence de deux collecteurs, ce qui permet soit d'avoir un bobinage moteur et un bobinage tachymétrique (rapport 1/10), doit deux bobinages moteurs (montage push-pull, rapport 1/1).

Il existe en outre un moteur Microtax qui com-

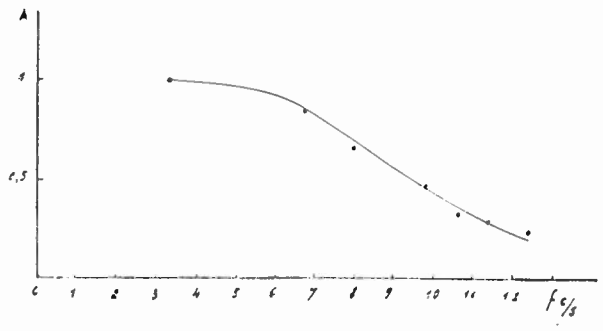

FIG. 28.

bine l'induit du Prémavol et un aimant intérieur type Birotax et permet avec des caractéristiques inférieures, de satisfaire à des conditions spéciales de légèreté et d'encombrement. Ces moteurs sont représentés fig. 30. Dans l'ordre, de gauche à droite : Birotax avec réducteur, Prémavaol avec réducteur Prémavol, Microtax.

Leurs caractéristiques sont figurées dans le tableau ci-dessous.

3,2. — Servomécanismes réalisés.

Exemple 1 :

Moteur : Prémavol réducteur 550.

Amplificateur C. C. à lampes à chauffage direct (photo 31).

	Prémavol	Birotax		Microtax
		tachymétrique	push-pull pour un bobinage	
Puissance max. sur l'arbre de l'induit.	2 à 3 W	8 W	8 W	0,5 W
Vitesse induit pour $U = 50$ V	8 000 t/mn	1 500 t/mn	2 800 t/mn	15 000 t/mn
Résistance du moteur	100 ohms	1 000 ohms	600 ohms	400 ohms
Capacité équivalente	100 µF	40 µF	160 µF	100 µF environ
Courant de démarrage	$\leqslant$ 0,5 mA	$\leqslant$ 1 mA	$\leqslant$ 2 mA	$\leqslant$ 0,3 mA
Courant maximum. .	35 mA	70 mA	70 mA	35 mA
Rapport couple-courant (sur l'Induit)	0,58 g.cm/mA	2,8 g.cm/mA	1,7 g.cm/mA	
Poids	450 g.	300 g.	300 g.	45 g.

Stabilisation par circuit dérivateur et contre-réaction sélective (fig. 32).

Tension aux bornes du potentiomètre d'asservissement 40 volts.

Pente de l'ampli sans réseaux 180 mA/V environ.

Vitesse de réponse — la photo 29 représente l'enregistrement de la réponse à un ordre brutal de faible amplitude. Le déclenchement de la base de temps étant simultané à l'ordre. — Le 50 c/s superposé à l'enregistrement montre que le temps de réponse est de l'ordre de 0,2 s.

Fig. 29.

Couple maximum : 3,5 à 4 kg.cm.

Vitesse de rotation maximum : 0,5 t/s.

Exemple 2 :

Moteur : Birotax tachymétrique — réducteur 150.

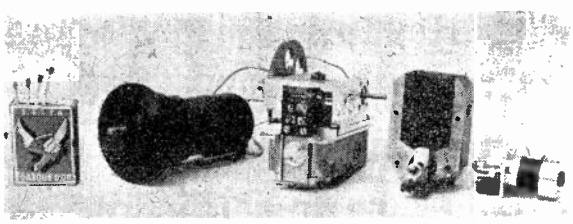

Fig. 30.

Amplificateur analogue au précédent, le circuit dérivateur étant supprimé et la contre-réaction n'étant maintenue que pour stabiliser les caractéristiques de l'amplificateur.

Stabilisation par dynamo tachymétrique.

Couple maximum 6 kg.cm.

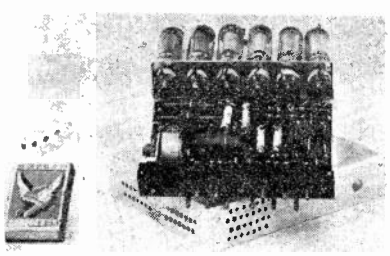

Fig. 31.

Vitesse de rotation : 0,5 t/s.

Vitesse de réponse : 0,2 s.

Exemple 3 :

Moteur : Birotax push-pull réducteur 150.

Amplificateur à lampes miniatures chauffage indirect sorties par les cathodes schéma 33.

Pente : 200 mA/V environ.

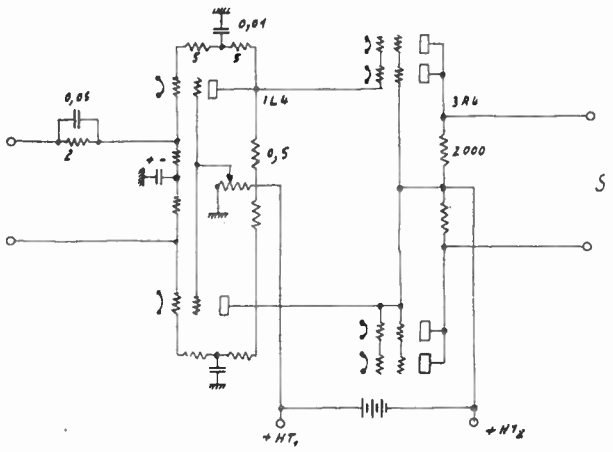

Fig. 32.

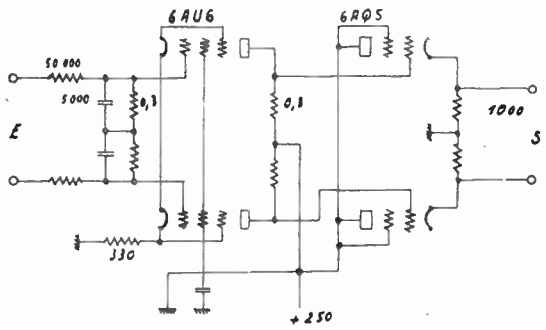

Fig. 33.

Cet amplificateur peut être utilisé avec Birotax tachymétrique ou Birotax push-pull directement dans les cathodes.

Dans ce dernier cas et avec une tension de 25 volts sur le potentiomètre d'asservissement il n'est pas besoin de circuit de stabilisation et la vitesse de réponse est de l'ordre de 0,1 s.

Exemple 4 :

Moteur : Birotax tachymétrique, réducteur 15.

Amplificateur à lampes octal (fig. 34 35).

Stabilisation par la dynamo tachymétrique.

Tension aux bornes du potentiomètre d'asservissement : 70 volts.

Pente de l'amplificateur : 700 mA/V.

Ce servomécanisme équipe un enregistreur (photo 36).

Le couple maximum sur l'arbre du moteur est de 0,75 kg.cm.

La vitesse maximum du style est de 7 cm/s.

La figure 27 représente la reproduction d'un enregistrement à un ordre brutal de faible amplitude.

La connaissance de la vitesse de défilement du papier donne la vitesse de réponse qui est de 0,05 seconde environ.

La figure 28 donne la réponse en amplitude de l'enregistreur attaqué à niveau constant et à fréquence variable.

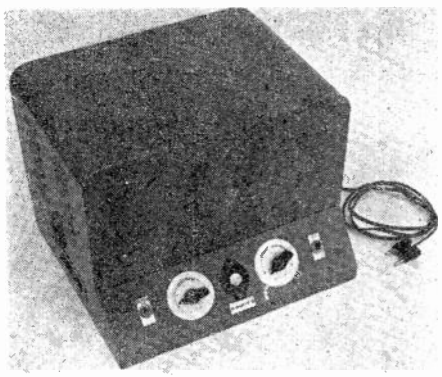

Fig. 34.

Exemple 5 :

Moteur : Birotax tachymétrique sans réducteur.

Amplificateur : identique au précédent.

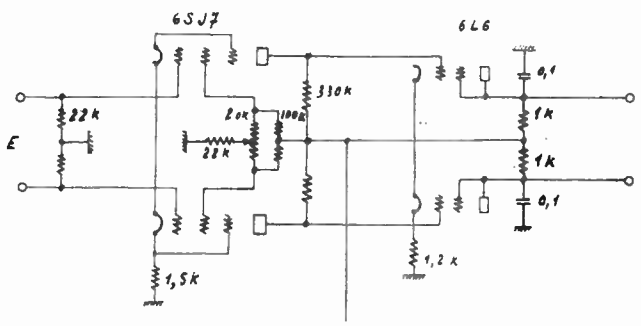

Fig. 35.

Tension aux bornes du potentiomètre: 50 volts.

Couple maximum : 0,06 kg.cm environ.

Stabilisation par la dynamo tachymétrique.

La figure 37 représente la réponse en amplitude du servomécanisme attaqué à fréquence variable et à niveau constant (suffisamment faible pour demeurer dans la zone de linéarité).

La vitesse de réponse est de l'ordre de 0,01 s.

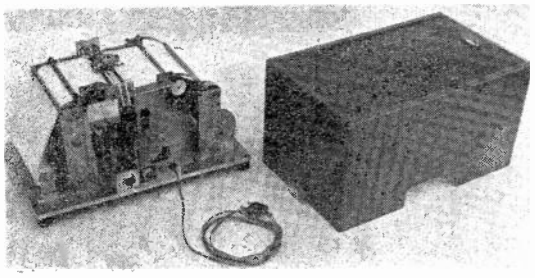

Fig. 36.

I. CONCLUSION

Il pourrait sembler à la lecture des exemples ci-dessus, que des vitesses de réponse du centième de seconde soient faciles à obtenir dans le cas des télé-indications. En fait, si l'on veut utiliser un amplificateur dont le débit maximum ne soit pas disproportionné avec les couples et puissances nécessaires, on arrive très rapidement à saturer cet

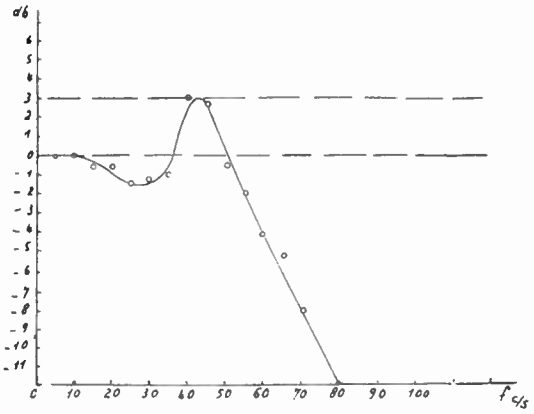

Fig. 37.

amplificateur, ce qui diminue les performances de la chaîne. Par ailleurs, les phénomènes discontinus commencent à prendre de l'importance et contribuent à compliquer, sinon rendre impossible, la stabilisation.

Néanmoins, on peut considérer que les vitesses de réponse de 0,1 s (Télécommande) et 0,02 s (Télé-indication) peuvent être obtenues de façon simple.

CONDITIONS DE VALIDITÉ DE LA MÉTHODE MATRICIELLE POUR LES ASSOCIATIONS DE QUADRIPOLES

(Applications aux circuits électroniques à réaction)

(suite et fin) (1)

PAR

le Commandant A. KAUFMANN

Ingénieurs I. R. G.

2e PARTIE

12. — Etude matricielle des circuits électroniques à réaction.

Nous allons montrer maintenant comment exploiter fructueusement les considérations précisées dans la première partie (1). Il nous a semblé intéressant de choisir comme sujet d'étude les circuits électroniques à réaction. Nous pensons que de nombreux calculs sont particulièrement simplifiés, par exemple le calcul des gains des amplificateurs. Il apparait aussi que l'analyse et la synthèse des circuits électroniques à réaction peut être systématisée grâce aux matrices.

13. — Rappel concernant les matrices de tubes électroniques.

Une triode (ou pentode) dans laquelle on suppose nulles les capacités interélectrodes a pour équations en fonctionnement linéaire :

13.1 $$\rho I_p = \mu V_g + V_p$$

13.2 $$I_g = 0$$

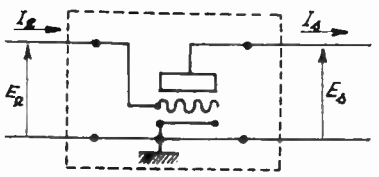

FIG. 27

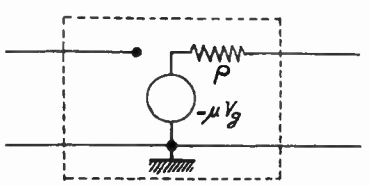

FIG. 28. — Schéma équivalent à celui de la figure 27

Avec les signes et notations de la figure 27.

13.3 $$I_e = I_g \qquad I_s = -I_p$$
$$E_e = V_g \qquad E_s = V_p$$

(1) Voir *Onde Electrique* n° 295 (octobre 1951), pages 396 à 412).

Les équations (13.1) et (13.2) s'écriront alors sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} I_e \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -s & \frac{1}{\rho} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_e \\ E_s \end{bmatrix} \text{ ou encore}$$

$$\begin{bmatrix} E_e \\ I_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\mu} & -\frac{1}{s} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_s \\ I_s \end{bmatrix}$$

on se reportera aux tableaux donnés en annexe. (1)

14. — Réaction par quadripôle en série-parallèle (figure 29).

Reportons nous à (2.5) on fera la somme :

14.1 $$\left| h \right| = \left| h_1 \right| + \left| h_2 \right|$$

Pour le quadripôle (1) il sera nécessaire d'ajouter une résistance F en parallèle à l'entrée. Tous calculs faits on fera tendre $F \to \infty$.

On a :

14.2 $$\left| h_1 \right| = \begin{bmatrix} F & 0 \\ -sF & \frac{1}{\rho} \end{bmatrix}$$

14.3 $$\left| h_2 \right| = \begin{bmatrix} h_{11}^2 & h_{12}^2 \\ h_{21}^2 & h_{22}^2 \end{bmatrix}$$

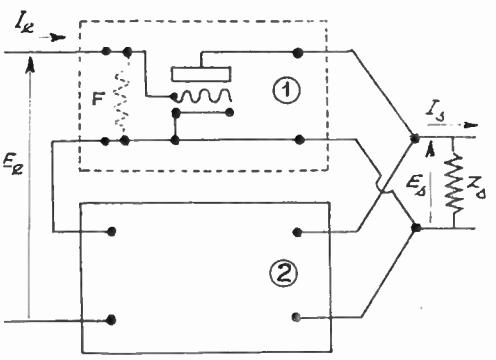

FIG. 29

et :

14.4 $$\left| h \right| = \begin{bmatrix} F + h_{11}^2 & h_{12}^2 \\ sF + h_{21}^2 & \frac{1}{\rho} + h_{22}^2 \end{bmatrix}$$

où :

$$|h| = (F + h_{11}^2)\left(\frac{1}{\rho} + h_{22}^2\right) - h_{12}^2\left(sF + h_{21}^2\right) \tag{14.5}$$

$$\frac{F}{\rho} + Fh_{22}^2 + \frac{h_{11}^2}{\rho} + h_{11}h_{22}^2 + sFh_{12}^2 - h_{12}^2 h_{21}^2$$

Rappelons que le gain d'un étage chargé par une impédance Z_s a pour valeur :

$$g_{es} = \frac{Z_s}{s\beta + \mathrm{cl}\, Z_s} \tag{14.6}$$

On obtient facilement :

$$\mathrm{cl} = \frac{|h|}{h_{21}} \tag{14.7}$$

$$s\beta = \frac{h_{11}}{h_{21}} \tag{14.8}$$

Maintenant calculons :

$$\lim_{F \to \infty} \frac{|h|}{F} = \frac{1}{\rho} + h_{22}^2 + sh_{12}^2 \tag{14.9}$$

$$\lim_{F \to \infty} \frac{h_{11}}{F} = 1 \tag{14.10}$$

$$\lim_{F \to \infty} \frac{h_{21}}{F} = s \tag{14.11}$$

il vient donc :

$$\lim_{F \to \infty} \mathrm{cl} = \frac{1}{\mu} + \frac{h_{22}^2}{s} + h_{12}^2 \tag{14.12}$$

$$\lim_{F \to \infty} s\beta = -\frac{1}{s} \tag{14.13}$$

et le gain de l'étage est donc :

$$g_{es} = \frac{\mu}{1 + \frac{\rho}{Z_s} + h_{22}^2\rho + h_{12}^2\mu} \tag{14.14}$$

Ainsi le gain avec réaction ne dépend que des éléments h_{12}^2 et h_{22}^2 du quadripôle constituant la réaction. Tout revient à connaître la matrice de « réaction ».

Nous verrons que des résultats aussi simples se rencontrent dans les autres types de réaction.

Exemple :

Montage en réaction de tension sur la grille (figures 30 et 31).

On a :

$$\left[h_2\right] = \begin{bmatrix} \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} & -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ -\frac{R_1}{R_1 + R_2} & -\frac{1}{R_1 + R_2} \end{bmatrix} \tag{14.15}$$

donc :

$$h_{12}^2 = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \tag{14.16}$$

$$h_{22}^2 = \frac{1}{R_1 + R_2} \tag{14.17}$$

En portant ces valeurs dans (14.14) on a :

$$g_{es} = \frac{\mu}{1 + \left[\frac{\rho}{Z_s} + \frac{\rho + \mu R_1}{R_1 + R_2}\right]} \tag{14.18}$$

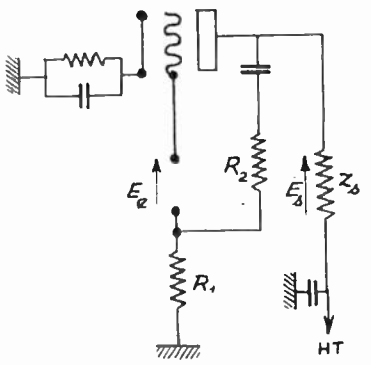

Fig. 30

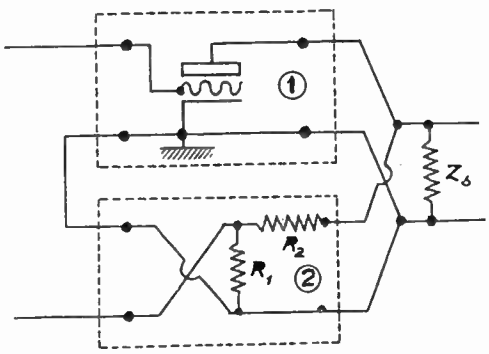

Fig. 31. — Association série-parallèle donnant l'équivalent de la fig. 30

Autre exemple :

Cathode follower (*contre réaction totale*) (figures 32 et 33).

$$\left[h_2\right] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \tag{14.19}$$

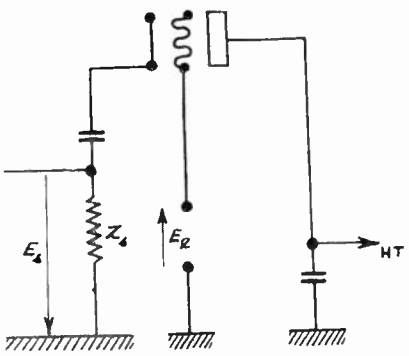

Fig. 32. — Cathode follower

soit :

$$h_{12}^2 = -1 \tag{14.20}$$

$$h_{22} = 0 \tag{14.21}$$

Le gain du « cathode follower » est donc d'après (14.11) :

14.22 $$g_{es} = \frac{-\mu}{1 + \mu + \frac{\rho}{Z_s}}$$

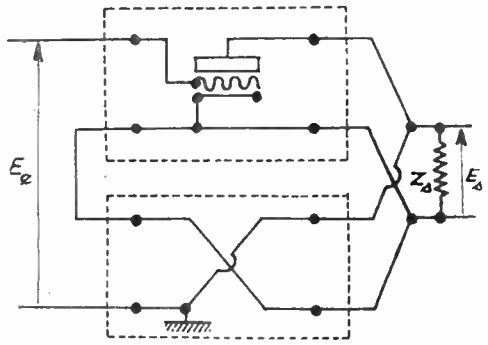

FIG. 33. — Association série-parallèle équivalente au cathode follower

15. — **Réaction par quadripôle en série-série** (figure 34).

15.1 $$\left| Z_1 \right| = \begin{bmatrix} F & 0 \\ -\mu F & \rho \end{bmatrix}$$

15.2 $$\left| Z_2 \right| = \begin{bmatrix} Z_{11}^2 & Z_{12}^2 \\ Z_{21}^2 & Z_{22}^2 \end{bmatrix}$$

15.3 $$\left| Z \right| = \left| Z_1 \right| + \left| Z_2 \right|$$

$$= \begin{bmatrix} F + Z_{11}^2 & Z_{12}^2 \\ -\mu F + Z_{12}^2 & \rho + Z_{22}^2 \end{bmatrix}$$

15.4 $$|Z| = F\rho + FZ_{22}^2 + Z_{11}^2\rho + Z_{11}^2 Z_{22}^2 + \mu F Z_{12}^2 - Z_{12}^2 Z_{21}^2$$

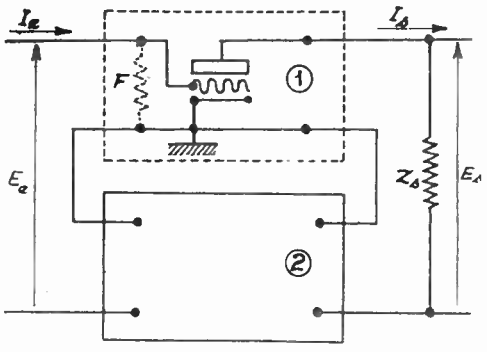

FIG. 34

On a :

15.5 $$\mathcal{A} = \frac{Z_{11}}{Z_{21}}$$

15.6 $$\mathcal{B} = -\frac{|Z|}{Z_{21}}$$

Successivement :

15.7 $$\lim_{F \to \infty} \frac{|Z|}{F} = -\rho + Z_{22}^2 + \mu Z_{12}^2$$

15.8 $$\lim_{F \to \infty} \frac{Z_{11}}{F} = 1$$

15.9 $$\lim_{F \to \infty} \frac{Z_{21}}{F} = -\mu$$

15.10 $$\lim_{F \to \infty} \mathcal{A} = \lim_{F \to \infty} \frac{Z_{11}}{Z_{21}} = -\frac{1}{\mu}$$

15.11 $$\lim_{F \to \infty} \mathcal{B} = \lim_{F \to \infty} \frac{|Z|}{Z_{21}} = \frac{\rho - Z_{22} + \mu Z_{12}^2}{-\mu}$$

on a donc d'après (14.6) :

15.12 $$g_{es} = \frac{\mu}{1 - \frac{\rho}{Z_s} - \frac{Z_{22}^2}{Z_s} - \frac{Z_{12}^2}{Z_s}\mu}$$

Exemple :

Réaction de courant par le circuit de cathode (figures 35 et 36).

15.13 $$\left| Z_2 \right| = \begin{bmatrix} R & -R \\ R & -R \end{bmatrix}$$

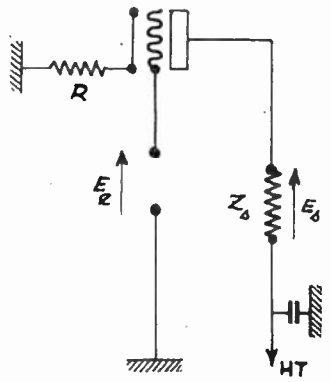

FIG. 35

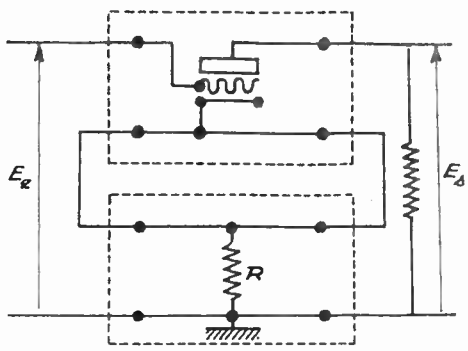

FIG. 36. — Association série-parallèle équivalente à la fig. 35

15.14 $$Z_{12}^2 = -R$$

15.15 $$Z_{22}^2 = -R$$

d'après (15.12) :

15.16 $$g_{cs} = \frac{-\mu}{1 + \frac{\rho}{Z_s} + (\mu + 1)\frac{R}{Z_s}}$$

16. — **Réaction par quadripôle en parallèle-parallèle** (figure 37).

16.1 $$\boxed{a_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -s & -\frac{1}{\rho} \end{bmatrix}$$

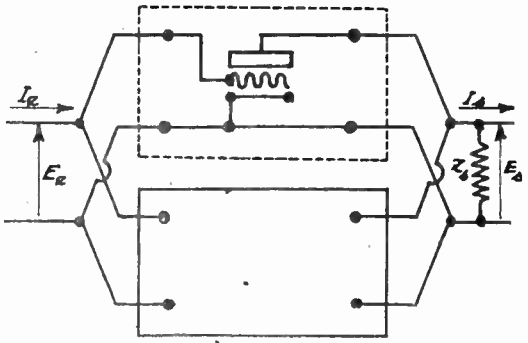

Fig. 37

16.2 $$\boxed{a_2} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12}^2 \\ a_{21}^2 & a_{22}^2 \end{bmatrix}$$

16.3 $$\boxed{a} = \boxed{a_1} + \boxed{a_2}$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11}^2 & a_{12}^2 \\ -s + a_{21}^2 & -\frac{1}{\rho} + a_{22}^2 \end{bmatrix}$$

On a :

16.4 $$\mathfrak{A} = -\frac{a_{22}}{a_{21}} = \frac{-\frac{1}{\rho} + a_{22}^2}{-s + a_{21}^2}$$

16.5 $$\mathfrak{B} = \frac{1}{a_{21}} = \frac{1}{-s + a_{21}^2}$$

En portant (16.4) et (16.5) dans (14.6) il vient :

16.6 $$g_{cs} = \frac{-s + a_{21}^2}{\frac{1}{Z_s} + \frac{1}{\rho} - a_{22}^2}$$

Exemple :

Réaction potentiomètrique sur la grille (figures 38 et 39).

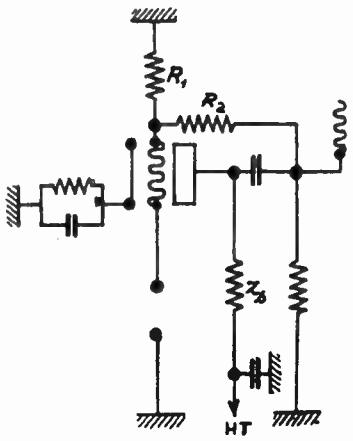

Fig. 38

16.7 $$\boxed{a_2} = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} \\ \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} \end{bmatrix}$$

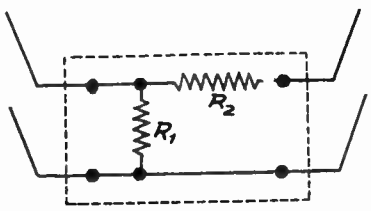

Fig. 39. — Quadripôle constituant la réaction de la fig. 38

16.8 $$a_{12}^2 - \frac{1}{R_2}$$

16.9 $$a_{22}^2 = -\frac{1}{R_2}$$

16.10 $$g_{cs} = \frac{-s + \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{Z_s} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\rho}}$$

17. — **Réaction par quadripôle en parallèle-série** (figure 40)

17.1 $$\boxed{g_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\mu & \rho \end{bmatrix}$$

17.2 $$\boxed{g_2} = \begin{bmatrix} g_{11}^2 & g_{12}^2 \\ g_{21}^2 & g_{22}^2 \end{bmatrix}$$

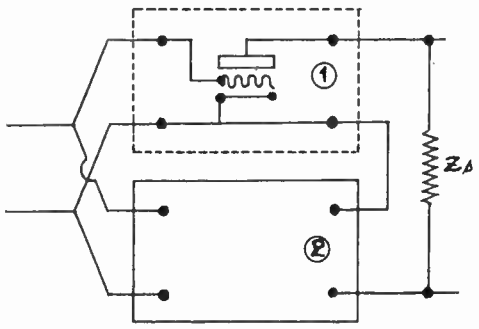

Fig. 40

17.3 $$\left|\overline{g}\right| = \left|\overline{g_1}\right| + \left|\overline{g_2}\right|$$

$$= \begin{bmatrix} g_{11}^2 & g_{12}^2 \\ -\mu + g_{21}^2 & -\rho + g_{22}^2 \end{bmatrix}$$

17.4 $$\mathcal{A} = \frac{1}{g_{21}} = \frac{1}{-\mu + g_{21}^2}$$

17.5 $$\mathcal{B} = -\frac{g_{22}}{g_{21}} = \frac{-\rho + g_{22}^2}{-\mu + g_{21}^2}$$

et :

17.6 $$g_{cs} = \frac{-\mu + g_{21}^2}{1 + \frac{\rho}{Z_s} - \frac{g_{22}^2}{Z_s}}$$

Exemple :

Montage dit : « *grille à la masse* ». (figures 41 et 42).

17.7 $$\left|\overline{g_2}\right| = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

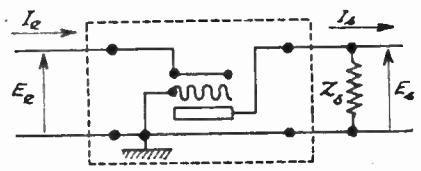

FIG. 41

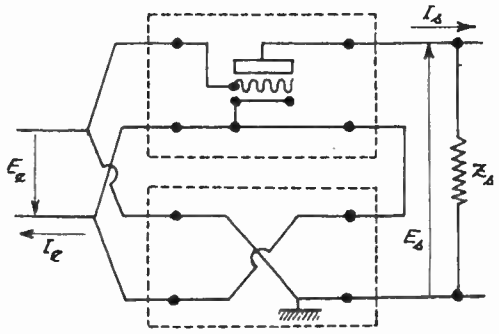

FIG. 42. — Association équivalente à celle de la fig. 41

$$g_{21}^2 = -1$$

$$g_{22}^2 = 0$$

17.8 $$g_{cs} = \frac{-(1+\mu)}{1 + \frac{\rho}{Z_s}}$$

En inversant le sens conventionnel de la tension d'entrée :

17.9 $$g_{cs} = \frac{1+\mu}{1 + \rho/Z_s}$$

18. — **Réaction par transformateur** (figure 43).

Nous nous contenterons de donner les matrices de réaction et les gains.

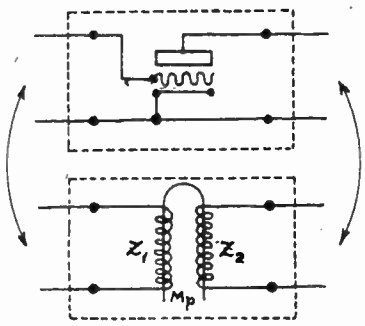

FIG. 43

Série-parallèle :

18.1 $$\left|\overline{h_2}\right| = \begin{bmatrix} \frac{Z_1Z_2 - M^2p^2}{Z_2} & \frac{Mp}{Z_2} \\ \frac{Mp}{Z_2} & -\frac{1}{Z_2} \end{bmatrix}$$

18.2 $$g_{cs} = \frac{-\mu}{1 + \frac{\rho}{Z_2} + \frac{\rho}{Z_2} - \frac{\mu\, Mp}{Z_2}}$$

Série-série :

18.3 $$\left|\overline{Z_2}\right| = \begin{bmatrix} Z_1 & -Mp \\ Mp & -Z_2 \end{bmatrix}$$

18.4 $$g_{cs} = \frac{-\mu}{1 + \frac{\rho}{Z_s} + \frac{Z_2}{Z_s} + \frac{\mu Mp}{Z_s}}$$

Parallèle-parallèle :

18.5 $$\left|a_2\right| = \begin{bmatrix} \frac{Z_2}{Z_1Z_2 - M^2p^2} & \frac{-Mp}{Z_1Z_2 - M^2p^2} \\ \frac{Mp}{Z_1Z_2 - M^2p^2} & \frac{-Z_1}{Z_1Z_2 - M^2p^2} \end{bmatrix}$$

18.6 $$g_{cs} = \frac{-s + \frac{Mp}{Z_1Z_2 - M^2p^2}}{\frac{1}{Z_s} + \frac{1}{\rho} + \frac{Z_1}{Z_1Z_2 - M^2p^2}}$$

Parallèle-série :

18.7 $$\left|\overline{g_2}\right| = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_1} & \frac{Mp}{Z_1} \\ \frac{Mp}{Z_1} & \frac{-(Z_1Z_2 - M^2p^2)}{Z_1} \end{bmatrix}$$

18.8 $$g_{cs} = \frac{-\mu + \frac{Mp}{Z_1}}{1 + \frac{\rho}{Z_s} + \frac{Z_1Z_2 - M^2p^2}{Z_1 Z_s}}$$

19. — **Calcul des impédances d'entrée.**

Rappelons que l'impédance d'entrée d'un quadripôle chargé sur une impédance Z_s est donné par la formule :

19.1 $$Z_{11} = \frac{\mathcal{A} Z_s + \mathcal{B}}{\mathcal{C} Z_s + \mathcal{D}}$$

On obtient facilement les résultats suivants :

19.2 série-parallèle : $Z_{11} = \infty$

19.3 série-série : $Z_{11} = \infty$

19.4 parallèle-parallèle : $Z_{11} = \dfrac{1 - a_{22} Z_s}{a_{11} - |a| Z_s}$

19.5 parallèle-série : $Z_{11} = \dfrac{1}{g_{11}} = \dfrac{1}{g_{11}^z}$

20. **Réaction entre étages.**

La matrice $\boxed{\mathfrak{T}}$ d'un étage chargé par Z_s est :

20.1 $$\boxed{\mathfrak{T}_1} = \begin{bmatrix} -\dfrac{1}{\mu} - \dfrac{1}{sZ_s} & -\dfrac{1}{s} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Celle de $(n-1)$ étages identiques sera :

20.2 $$\boxed{\mathfrak{T}_{n-1}} = \boxed{\mathfrak{T}_1}^{n-1} =$$

$$(-1)^{n-1} \begin{bmatrix} \left(\dfrac{1}{\mu} + \dfrac{1}{sZ_s}\right)^{n-1} & \dfrac{1}{s}\left(\dfrac{1}{\mu} + \dfrac{1}{sZ_s}\right)^{n-2} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

20.3 posons : $\dfrac{1}{k} = \dfrac{1}{\mu} + \dfrac{1}{sZ_s}$

k est le gain d'un étage.

20.4 $$\boxed{\mathfrak{T}_{n-1}} = (-1)^{n-1} \begin{bmatrix} \dfrac{1}{k^{n-1}} & \dfrac{1}{sk^{n-2}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

en ajoutant un n^e étage non chargé :

20.5 $$\boxed{\mathfrak{T}_n} = (-1)^n \begin{bmatrix} \dfrac{1}{\mu k^{n-1}} & \dfrac{1}{sk^{n-1}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

20.6 posons : $\mu_n = \mu\, k^{n-1}$ $\quad s_n = sk^{n-1}$

20.7

on considèrera le tube fictif :

20.8 $$\boxed{\mathfrak{T}_n} = (-1)^n \begin{bmatrix} \dfrac{1}{\mu_n} & \dfrac{1}{s_n} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Toutes les considérations précédentes s'appliquent alors au tube fictif de caractéristiques μ_n, s_n et ρ.

Exemple :

Réaction sautant un étage (Fig. 44) :

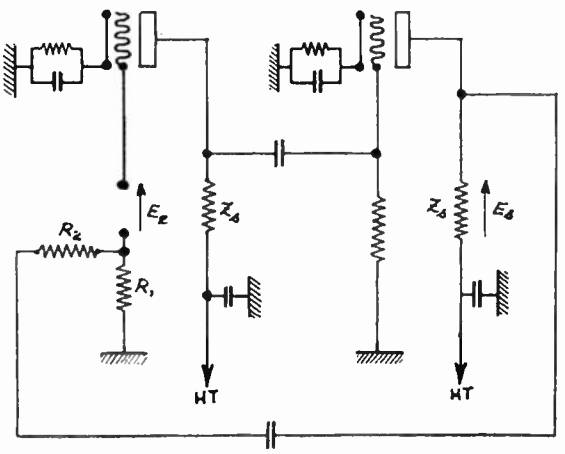

Fig. 44

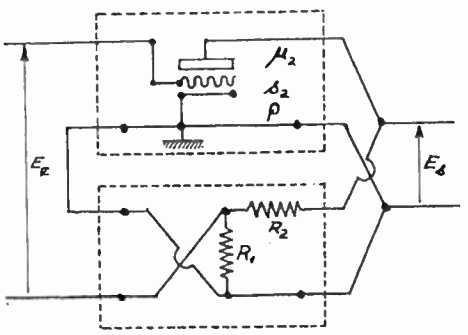

Fig. 45. — Association équivalente à la fig. 44

20.9 $$\mu_2 = \mu k$$

soit :

20.10 $$\frac{1}{\mu_2} = \frac{1}{\mu}\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{sZ_s}\right)$$

20.11 $$s_2 = sk$$

soit :

20.12 $$\frac{1}{s_2} = \frac{1}{s}\left(\frac{1}{\mu} + \frac{1}{Z_s}\right)$$

d'après (14.18) :

$$20.13 \qquad g_{es} = \frac{\mu_2}{1 + \frac{\rho}{Z_s} + \frac{\rho + \mu_2 R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$= \frac{\mu^2}{\left(1 + \frac{\rho}{Z_s}\right)^2 + \frac{\rho\,(1 + \rho/Z_s)}{R_1 + R_2} + \mu^2 \frac{R}{R_1 + R_2}}$$

21. — Réactions superposées.

Certaines réactions sont constituées par la superposition de deux types (ou plus) de réactions.

Considérons le montage à réaction de courant et de tension de la figure 46.

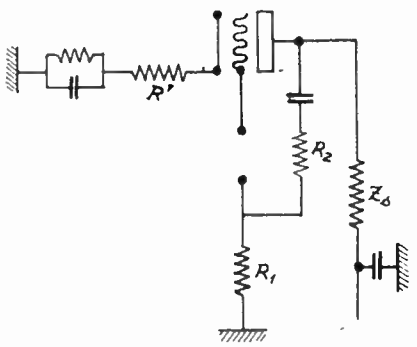

FIG. 46

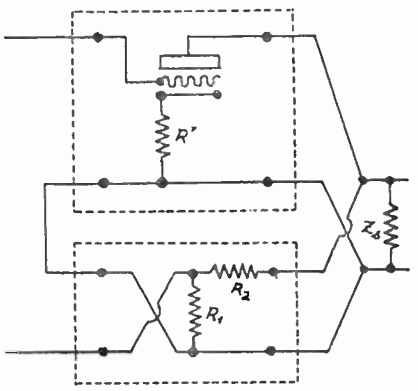

FIG. 47

Un calcul rapide déjà établi pour (15.16) donne

$$21.1 \qquad \boxed{\mathfrak{G}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu} & -\frac{1}{s} - R'\left(\frac{\mu + 1}{\mu}\right) \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

posons :

$$21.2 \qquad \frac{1}{s'} = \frac{1}{s} + R'\left(\frac{\mu + 1}{\mu}\right)$$

alors :

$$21.3 \qquad \boxed{\mathfrak{G}} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu} & -\frac{1}{s'} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

et on retombe sur un cas déjà étudié (14.18) :

$$21.4 \qquad g_{es} = \frac{-\mu}{1 + \left(\frac{\mu}{s'\,Z_s} + \frac{\rho + \mu R_1}{R_1 + R_2}\right)}$$

$$= \frac{-\mu}{1 + \frac{\mu}{Z_s}\left[\frac{1}{s} + R'\left(\frac{\mu + 1}{\mu}\right) + \frac{\rho + \mu R_1}{R_1 + R_2}\right]}$$

posons :

$$21.5 \qquad R_1 = \beta R$$

$$21.6 \qquad R_2 = (1 - \beta)\,R$$

d'où :

$$21.7 \qquad \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \beta$$

et

$$21.8 \qquad \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{R}$$

il vient :

$$21.9 \qquad g_{es} = \frac{-\mu}{1 + \frac{\rho}{Z_s} + \frac{\rho}{R} + \frac{R'}{Z_s}(\mu + 1) + \mu\beta}$$

usuellement :

$$R \ll Z_s$$

$$21.10 \qquad g_{es} = \frac{-\mu\,Z_s}{\rho + (\mu + 1)\,R' + (1 + \mu\beta)\,Z_s}$$

22. — Conclusion.

Ce qui précède semble prouver que l'analyse et la synthèse matricielles des circuits électroniques linéaires présentent d'incontestables avantages sur les méthodes classiques, en particulier pour l'étude des circuits à réaction. De nombreux développements et une théorie générale sont à espérer.

BIBLIOGRAPHIE

(1) *Communications Networks* par E. A. GUILLEMIN. Vol. II, chap. IV, § 5, 1935, Mc Graw Hill, N. Y.

(2) *Cours d'électricité théorique* par M. BAYARD. Ecole Nat. Sup. des Téléc., tome I, 1945.

(3) *Grundlagen der Theorie des Allegemeinen Verpols*, par F. STRECKER et R. FELDKELLER. E. N. T. 6, pp. 93, 112, 1929.

(4) Travaux de Otto BRUNE - ENT 9 - N° 6 - pp. 234 - 1932.

COMPTE-RENDU DE L'ACTIVITÉ EN 1951 DU GROUPE DU SUD-EST DE LA SOCIÉTÉ DES RADIOÉLECTRICIENS

Séance du 2 Février 1951 : Evolution et applications nouvelles de l'enregistrement magnétique, par M. HEMARDINQUER, *Ingénieur-Conseil.*

L'idée de l'enregistrement magnétique est ancienne mais n'a pu recevoir de réalisation pratique avant l'invention des lampes électroniques nécessaires à l'amplification. Les appareils modernes datent de 1935-39. Les progrès ont été possibles par la découverte :

1° De supports magnétiques (matières plastiques, sous forme de rubans ou de disques) remplaçant avantageusement le fil d'acier, dont l'enroulement est délicat ;

2° De substances ferromagnétiques pulvérulentes à forte aimantation rémanente et fort champ coercitif ;

3° Du procédé dit de polarisation pour la désaimantation ; celle-ci est obtenue par un champ alternatif de fréquence ultrasonore ; la « polarisation » permet un effacement rigoureux des fréquences les plus aiguës sans laisser le bruit de fond important produit par l'effacement au moyen d'un champ continu.

Monsieur HEMARDINQUER a illustré son exposé d'une façon très remarquable en présentant des appareils variés et en réalisant quelques expériences très suggestives, par exemple sur l'effacement de l'enregistrement. Il a terminé en indiquant les applications scientifiques de l'enregistrement magnétique à la mesure de temps très courts, à l'étude des phénomènes transitoires et les applications techniques (réalisation d'effets acoustiques variés, enregistrement d'images de télévision, contrôles divers).

1er Mars 1951 : Visite des installations radioélectriques de l'émetteur de Lyon-Tramoyes et de l'aérodrome de Bron.

L'émetteur représente l'état actuel de la technique de radiodiffusion. Sérieusement endommagé à la libération il a été en effet reconstruit depuis. La baie de modulation définitive n'a été installée que tout récemment et des travaux sont encore en cours sur les antennes.

La visite à l'aérodrome nous a permis d'étudier les très nombreuses installations nécessaires à l'atterrissage sans visibilité, l'émission à grande distance et l'écoute.

15 Mars 1951 : Les systèmes modernes de radionavigation à courte distance, par le Commandant BASSERAS, de l'*Ecole des Pupilles de l'Air.*

Monsieur le Commandant BASSERAS a bien voulu accepter de donner en deux conférences un exposé d'ensemble sur les procédés de radionavigation. Il a d'abord considéré le cas des distances inférieures à 300 km. Le problème est de conduire un avion vers un terrain d'atterrissage avec une grande précision, puisque la distance est courte.

Le procédé primitif (mais encore utilisé) des radioalignements impose une route déterminée, donc empêche l'avion de se détourner éventuellement d'un grain orageux. Il exige une écoute continue et est sensible aux parasites, puisqu'il travaille sur des fréquences de 100 à 400 kc/s.

Les systèmes actuellement préférés sont de deux sortes :

1° Les systèmes hyperboliques du type « Gee » permettant à l'avion de se situer par rapport à des familles d'hyperboles ;

2° Les systèmes angulaires (radiophares omnidirectionnels) indiquant l'azimut et la distance de l'avion.

Dans le système Gee, proposé en 1937, deux émetteurs envoyant des signaux brefs, permettent de situer, par l'intervalle de temps séparant la réception des deux signaux, l'avion par rapport à un réseau d'hyperboles. Avec un troisième émetteur, on définit deux autres réseaux qui permettent de fixer la position de l'avion.

Dans les radiophares, l'azimut se déduit des déphasages des signaux reçus par un système d'antennes disposées au sommet d'un carré. La distance, dans le procédé le plus répandu, est mesurée par l'intervalle de temps séparant l'émission d'un bref signal par l'avion de la réception de la réponse que déclenche le signal à la station-repère. Le tout est obtenu d'une façon simple. Au contraire le système Gee plus complexe exige un radionavigateur à bord. C'est cependant celui dont les installations sont les plus développées.

Les exigences de plus en plus strictes de la navi-

gation aérienne (simplicité d'emploi, contrôle simultané des mouvements de plusieurs avions, télécommande des avions) obligeront probablement à généraliser l'emploi des radiophares omnidirectionnels.

10 Mai 1951 : Visite des « Câbles de Lyon » et des établissements « Fotos-Grammont ».

Les « Câbles de Lyon » possèdent un laboratoire de recherches qui étudie des solutions nouvelles aux problèmes de télécommunication et une importante fabrication industrielle de câbles. Les procédés et appareils de contrôle de ces câbles sont l'objet d'études poussées.

Fotos-Grammont nous a montré un équipement américain de fabrication de lampes miniatures à grand rendement et des laboratoires de contrôle en plus de ses installations pour tubes classiques.

25 Mai 1951 : Les systèmes modernes de radionavigation à grande et moyenne distances, par le Commandant BASSERAS, de l'*Ecole des Pupilles de l'Air* (Grenoble).

La radionavigation à longue distance est moins exigeante qu'aux courtes distances (précision à réaliser moindre, possibilité de délais dans la transmission des renseignements et d'un fonctionnement discontinu). La portée nécessaire (2 400 km) peut être obtenue dans un réseau mondial par 60 stations. Cette portée est atteinte d'une façon régulière et avec le minimum de puissance pour des fréquences comprises entre 50 et 100 kc/s.

Le Commandant BASSERAS analyse et critique différents systèmes :

1° Le radiophare Consol est un radioalignement à axes multiples tournant ; quoique d'emploi assez simple, il exige une écoute attentive des signaux, pour compter des points et des traits entre deux sons continus, et un petit calcul ;

2° Le navigateur Decca compare les phases de quatre émissions entretenues et permet de se repérer par rapport à des réseaux d'hyperboles ; il permet une grande précision (20 m sur 150 km).

3° Le système Loran, analogue au Gee pour courtes distances, emploie des impulsions ; son utilisation est peu pratique, exigeant une chambre noire et sa précision n'est pas très grande (1 % de la distance du mobile à la station) ; de plus sa largeur de bande le rend plus sensible aux parasites que les systèmes à ondes entretenues.

Imprimerie Marcel Bon, Vesoul. — Dépôt légal : 4e trimestre 1951. — I. n° 25. — 4.900.578. E. n° 20. — La gérante : Mme Chiron